

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02102703.X

[43] 公开日 2002 年 9 月 4 日

[11] 公开号 CN 1367481A

[22] 申请日 2002.1.23 [21] 申请号 02102703.X

[30] 优先权

[32] 2001.1.24 [33] JP [31] 2001-15805

[32] 2001.9.17 [33] JP [31] 2001-281703

[71] 申请人 雅马哈株式会社

地址 日本静冈县

[72] 发明人 佐藤秀树 大桥俊幸 涌井幸夫
吉田晋 相曾功吉

[74] 专利代理机构 隆天国际专利商标代理有限公司

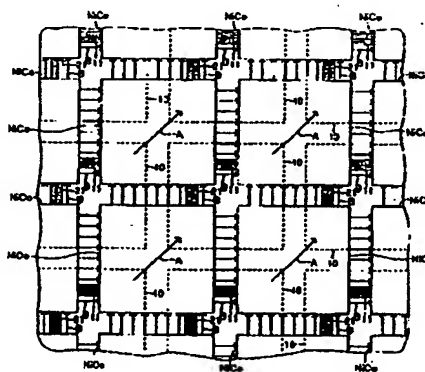
代理人 潘培坤 陈红

权利要求书 2 页 说明书 23 页 附图页数 26 页

[54] 发明名称 磁传感器及其制造方法

[57] 摘要

本发明涉及一种磁传感器及其制造方法,在单个基片上形成多个配置有钉扎层的磁阻效应元件,钉扎层具有彼此相交的方向的固定磁化轴。在衬底 10 上形成了将成为两个磁隧道效应元件 11、21 的磁层,作为磁阻效应元件。形成由 NiCo 制成的磁场施加磁层,使其在平面图中夹持磁层。给磁场施加磁层施加磁场。磁场施加磁层在箭头 A 所示的方向上磁化之后,除去磁场。结果,通过磁场施加磁层的剩磁磁化,给将成为磁隧道效应元件 11、21 的磁层施加箭头 B 所示的方向的磁场,从而在箭头 B 所示的方向上钉扎了将成为磁隧道效应元件 11、21 的磁层的钉扎层的磁化。



ISSN 1008-4274

知识产权出版社出版

BEST AVAILABLE COPY

权 利 要 求 书

1. 一种磁传感器，包括包含钉扎层和自由层的磁阻效应元件，所述磁阻效应元件具有随由钉扎层的磁化方向和自由层的磁化方向形成的相对角度变化的电阻值，以这样的方式形成所述磁传感器，即将多个所述磁阻效应元件设置在单个基片上，所述多个磁阻效应元件中的至少两个的钉扎层具有彼此相交的磁化方向。

2. 一种磁传感器的制造方法，所述磁传感器包括包含钉扎层和自由层的磁阻效应元件，所述磁阻效应元件具有随由钉扎层的磁化方向和自由层的磁化方向形成的相对角度变化的电阻值，所述方法包括步骤：

在衬底上的预定结构中形成包含将成为所述钉扎层的磁层的层；

形成磁场施加磁层，用于给包含将成为所述钉扎层的磁层的层施加磁场；

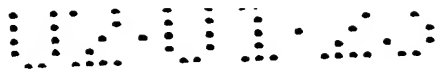
磁化所述磁场施加磁层；和

用所述磁场施加磁层的剩磁磁化钉扎(pin)将成为所述钉扎层的磁层的磁化方向。

3. 根据权利要求 2 的磁传感器的制造方法，其特征在于，形成所述磁场施加磁层的步骤是这样的步骤：形成所述磁场施加磁层以便夹持在平面图中包含将成为所述钉扎层的层。

4. 根据权利要求 3 的磁传感器的制造方法，其特征在于，所述磁场施加磁层的磁化方向与由所述剩磁磁化产生的磁场的方向不同。

5. 一种磁传感器的制造方法，所述磁传感器包括包含钉扎层和自由层的磁阻效应元件，所述磁阻效应元件具有随由钉扎层的磁化方向和自由层的磁化方向形成的相对角度变化的电阻值，所述方法包括步骤：



准备以下列方式构成的磁铁阵列，即在正方形格的格点处设置多个永久磁铁，每个永久磁铁的磁极的极性与和其相邻并距离最短的其它磁铁磁极的极性不同；

在所述磁铁阵列上，设置薄片，在此薄片已经形成了包含至少将成为所述钉扎层的磁层；

利用在一个所述磁极和与其相邻的并且距离最短的另一个所述磁极之间形成的磁场，钉扎将成为所述钉扎层的磁层的磁化方向。

说明书

磁传感器及其制造方法

技术领域

5 本发明涉及利用包含钉扎层(pinned layer)和自由层的磁阻效应(磁力效应)元件的磁传感器,特别是涉及具有在一个基片上形成两个或更多磁阻效应元件的磁传感器及其制造方法,磁阻效应元件的钉扎层的磁化方向彼此相交。

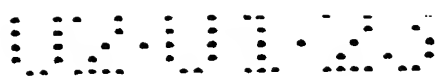
背景技术

10 至今,已知有大型的磁阻效应元件(GMR元件)、磁隧道效应元件(TMR元件、隧道GMR元件)等其它元件可作为磁传感器的元件使用。这些磁阻效应元件有钉扎层和自由层,钉扎层的磁化方向被钉扎(pinned)(或固定fixed)在预定的方向上,自由层的磁化方向随外磁场变化,从而显示了符合钉扎层的磁化方向和自由层的磁化方向之间的相对关系的电阻值。

15 然而,在单个小基片上形成两个或更多个磁阻效应元件、磁阻效应元件的钉扎层的磁化方向彼此相交是困难的。由于这种单个基片还没有研制出来,因此存在一个问题,即由于钉扎层磁化方向的限制,利用磁阻效应单个基片制成的磁传感器不会有更广泛的应用范围。

发明内容

20 本发明的特征在于磁传感器包含磁阻效应元件,磁阻效应元件包含钉扎层和自由层。所述磁阻效应元件具有变化的电阻值,该电阻值随钉扎层的磁化方向和自由层的磁化方向(之间)形成的相对夹角(relative angle)变化而变化。所述磁传感器以下列方式形成:即将多个所述磁阻效应元件设置在单个基片(一个和相同的衬底)上。所述多个磁阻效应元件中的至



少两个的钉扎层具有彼此相交的磁化方向。

这就是说，由于其中钉扎层磁化方向彼此相交的磁阻效应元件形成一个和相同的衬底上，磁传感器可以实现体积小和广泛应用范围。

本发明的另一个特征在于包含磁阻效应元件的磁传感器的制造方法，

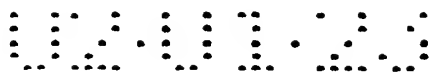
5 磁阻效应元件包含钉扎层和自由层。所述磁阻效应元件具有变化的电阻值，该电阻值随钉扎层的磁化方向和自由层的磁化方向形成的夹角变化而变化。所述方法包含步骤：

- 1、 在衬底上按预定结构形成包含磁层的层，所述磁层将成为所述钉扎层（例如，反铁磁层 antiferromagnetic 和铁磁层 ferromagnetic）；
- 10 2、 形成磁场施加磁层，用于给包含将成为所述的钉扎层磁层的层施加磁场；
- 3、 磁化所述磁场施加磁层；
- 4、 用所述磁场施加磁层的剩磁，磁化 (pinning) 将成为所述钉扎层的磁层的磁化方向。

15 根据上述方法，通过诸如镀膜一类的方式形成磁场施加磁层，该磁场施加磁层用于给将成为钉扎层的磁层施加磁场，此后磁化这些磁场施加磁层。然后由上述磁场施加磁层的剩磁产生的磁场，钉扎 (pin) 将成为所述钉扎层的磁层的磁化方向。在这种情况下，形成所述磁场施加磁层的步骤有利于形成所述磁场施加磁层，使其在一个平面中夹持包含将成为所述钉

20 扎层的磁层层，所述磁场施加磁层的磁化方向与由所述剩磁磁化产生的磁场的方向不同。

由上述磁场施加磁层的剩磁磁化产生的磁场的方向依赖于磁场施加磁层的端面形状。因此通过制作适当形状的端面，或通过相对于端面适当地放置包含将成为钉扎层的磁层的层，可以给予包含将成为钉扎层的磁层的



层任意方向的磁化。这样就能在一个和相同的衬底上容易地制造两个或更多个磁阻效应元件，这些元件具有彼此不同方向的钉扎磁化(pin)。

本发明的再一个特征在于包含磁阻效应元件的磁传感器的制造方法，磁阻效应元件包含钉扎层和自由层。所述磁阻效应元件具有变化的电阻值，该电阻值随钉扎层的磁化方向和自由层的磁化方向形成的夹角变化而变化。所述方法包括步骤：

- 1、 准备以下列方式构成的磁铁阵列，使得在正方形格的格点处设置多个永久磁铁，每个永久磁铁的磁极的极性和与其相邻并距离最短的其它磁铁磁极的极性不同；
- 10 2、 在所述磁铁阵列上，设置薄片，在此薄片上已经形成了包含至少将成为所述钉扎层的磁层；
- 3、 利用在一个所述磁极和与其相邻的并且距离最短的另一个所述磁极之间形成的磁场，钉扎将成为所述钉扎层的磁层的磁化方向。

以这样的方式构成上述磁铁阵列，即将多个永久磁铁放置在正方形格的格点处，每个永久磁铁的磁极的极性与和其相邻并且距离最短的其它磁极的极性不同。因此，在磁铁阵列的平面图中，在磁铁阵列上，向右方向形成从N极向位于其右侧S极的磁场、向上方向形成从N极向位于其上侧S极的磁场、向左方向形成从N极下侧向位于其左侧S极的磁场和向下方向上从N极向位于其下侧S极的磁场（参见图56和57）。同样地，对于一个S极，向左方向上形成从位于其右侧N极向S极的磁场、向下方向上形成从位于其上侧N极向S极的磁场、向右方向形成从位于其左侧N极向S极的磁场和向上方向形成从位于其下侧N极向S极的磁场。

上述方法利用这些磁场钉扎将成为钉扎层的层的磁化方向，从而可以在单个基片上容易地制造其中钉扎层的磁化方向彼此相交（在这种情况下

下，彼此垂直)的磁传感器。

附图说明

下面结合附图对本发明进行详细描述，本发明的目的、特征和优点将变得更加显而易见。

5 图 1 是说明根据本发明实施例 1 和实施例 2 磁传感器的设计平面图；

图 2 是图 1 所示的磁隧道效应元件(组)的放大图；

图 3 是图 2 所示的磁隧道元件(组)沿 1-1 线剖面图；

图 4 是图 3 所示的磁隧道元件(组)的平面示意图，说明元件的反铁磁膜和铁磁膜(钉扎层)；

10 图 5 是在制造过程中的一个步骤，实施例 1 的磁传感器的剖面示意图；

图 6 是在制造过程中的一个步骤，实施例 1 的磁传感器的剖面示意图；

图 7 是在制造过程中的一个步骤，实施例 1 的磁传感器的剖面示意图；

图 8 是在制造过程中的一个步骤，实施例 1 的磁传感器的剖面示意图；

图 9 是在制造过程中的一个步骤，实施例 1 的磁传感器的剖面示意图；

15 图 10 是在制造过程中的一个步骤，实施例 1 的磁传感器的剖面示意图；

图 11 是在制造过程中的一个步骤，实施例 1 的磁传感器的剖面示意图；

图 12 是在制造过程中的一个步骤，实施例 1 的磁传感器的剖面示意图；

图 13 是在制造过程中的一个步骤，实施例 1 的磁传感器的剖面示意图；

图 14 是在制造过程中的一个步骤，实施例 1 的磁传感器的剖面示意图；

20 图 15 是在制造过程中的一个步骤，实施例 1 的磁传感器的剖面示意图；

图 16 是在制造过程中的一个步骤，实施例 1 的磁传感器的剖面示意图；

图 17 是在制造过程中的一个步骤，实施例 1 的磁传感器的剖面示意图；

图 18 是表示当在元件的长度方向(X轴方向)给元件施加强度变化的外磁场时，图 1 所示的一个磁隧道效应元件(组)的 MR 率的变化曲线图；

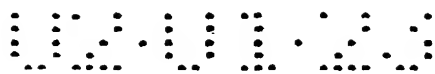


图 19 是表示当在与元件的长度方向垂直的方向 (Y 轴方向) 上给元件施加强度变化的外磁场时, 图 1 所示的一个磁隧道效应元件 (组) 的 MR 率的变化曲线图;

5 图 20 是表示在与元件的长度方向垂直的方向上 (X 轴方向) 当给元件施加强度变化的外磁场时, 图 1 所示的另一个磁隧道效应元件 (组) 的 MR 率的变化曲线图;

图 21 是表示在元件的长度方向 (Y 轴方向) 上当给元件施加强度变化的外磁场时, 图 1 所示的另一个磁隧道效应元件 (组) 的 MR 率的变化曲线图;

10 图 22 是在制造过程中的一个步骤, 实施例 2 的磁传感器的剖面示意图;
图 23 是在制造过程中的一个步骤, 实施例 2 的磁传感器的剖面示意图;
图 24 是在制造过程中的一个步骤, 实施例 2 的磁传感器的剖面示意图;
图 25 是在制造过程中的一个步骤, 实施例 2 的磁传感器的剖面示意图;
图 26 是在制造过程中的一个步骤, 实施例 2 的磁传感器的剖面示意图;
15 图 27 是在制造过程中的一个步骤, 实施例 2 的磁传感器的剖面示意图;
图 28 是在制造过程中的一个步骤, 实施例 2 的磁传感器的剖面示意图;
图 29 是在制造过程中的一个步骤, 实施例 2 的磁传感器的剖面示意图;
图 30 是在制造过程中的一个步骤, 实施例 2 的磁传感器的剖面示意图;
图 31 是在制造过程中的一个步骤, 实施例 2 的磁传感器的剖面示意图;
20 图 32 是在制造过程中的一个步骤, 实施例 2 的磁传感器的剖面示意图;
图 33 是在制造过程中的一个步骤, 实施例 2 的磁传感器的剖面示意图;
图 34 是在制造过程中的一个步骤, 实施例 2 的磁传感器的剖面示意图;
图 35 是在制造过程中的一个步骤, 实施例 2 的磁传感器的剖面示意图;
图 36 是表示当在元件的长度方向 (图 1 中的 X 轴方向) 给元件施加强

度变化的外磁场时，根据实施例 2 的一个磁隧道效应元件（组）的 MR 率的变化曲线图；

图 37 是表示当在与元件的长度方向垂直的方向（图 1 中的 Y 轴方向）上给元件施加强度变化的外磁场时，根据实施例 2 的一个磁隧道效应元件（组）的 MR 率的变化曲线图；

图 38 是表示当在与元件的长度方向垂直的方向上（图 1 中的 X 轴方向）给元件施加强度变化的外磁场时，根据实施例 2 的另一个磁隧道效应元件（组）的 MR 率的变化曲线图；

图 39 是表示当在元件的长度方向（图 1 中的 Y 轴方向）上给元件施加强度变化的外磁场时，根据实施例 2 的另一个磁隧道效应元件（组）的 MR 率的变化曲线图；

图 40 是表示当给根据实施例 1 和 2 的磁隧道元件组施加在与钉扎层的磁化方向垂直的方向上强度变化的外磁场时，钉扎层和自由层的磁化曲线图；

图 41 是根据本发明的另一个衬底的平面图，具有形成在其上的结构不同镀膜；

图 42 是根据本发明实施例的磁传感器的平面示意图；

图 43 是图 42 所示的第一 X 轴 GMR 元件的平面放大示意图；

图 44 是图 43 所示的第一 X 轴 GMR 元件沿图 43 的 2-2 线剖面示意图；

图 45 是说明图 43 所示的第一 X 轴 GMR 元件的自旋阀结构的图；

图 46 是表示图 43 所示的第一 X 轴 GMR 元件的电阻值（实线）相对于在 X 轴方向变化的磁场的变化曲线图，以及元件的电阻值（虚线）相对于在 Y 轴方向变化的磁场的变化曲线图；

图 47 是包含在图 42 所示的磁传感器中的 X 轴磁传感器的等效电路图；

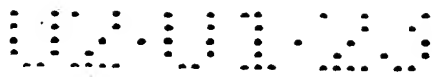


图 48 是表示图 47 所示的 X 轴磁传感器的输出电压（实线）相对于在 X 轴方向变化的磁场的变化曲线图，以及传感器的输出电压（虚线）相对于在 Y 轴方向变化的磁场的变化曲线图；

图 49 是表示包含在图 42 所示的磁传感器中的 Y 轴磁传感器的输出电压（实线）相对于在 X 轴方向变化的磁场的变化曲线图，以及传感器的输出电压（虚线）相对于在 Y 轴方向变化的磁场的变化曲线图；

图 50 是在图 42 所示的磁传感器的制造过程中的一个步骤，其上已经形成了自旋阀膜的石英玻璃的平面图；

图 51 是用于制备磁铁阵列的金属板的平面图，此磁铁阵列将用于图 42 所示的磁传感器的制造；

图 52 是图 51 所示的金属板和永久条形磁铁沿图 51 的 3-3 线剖面图；

图 53 是用于形成将用在图 42 所示的磁传感器的制造中的磁铁阵列的板的平面图；

图 54 是将用在图 42 所示的磁传感器的制造中的磁铁阵列的剖面图；

图 55 是表示图 42 所示的磁传感器的制造中的步骤的剖面图；

图 56 是说明从图 54 中的磁铁阵列选取的一些磁铁的透视图；

图 57 是说明图 42 所示的磁传感器的每个 GMR 元件的钉扎层的磁化方向的钉扎方法的原理图；

图 58 是说明图 42 所示的磁传感器和方位角之间关系的图；和

图 59 是表示图 42 所示的磁传感器的输出电压与方位角之间的曲线图。

具体实施方式

下面将参考附图描述根据本发明的磁传感器的实施例。

如图 1 所示，根据第一实施例的磁传感器包含通常的正方形衬底 10、两个磁隧道效应元件（组）11、21、磁场偏转线圈 30 和多个电极焊盘 40a

至 40f, 其中矩形衬底 10 例如可以由 SiO_2/Si 、玻璃或石英制成。磁隧道效应元件(组) 11、21 和磁场偏转线圈 30 分别与电极焊盘 40a、40b、40c、40d、40e 和 40f 连接。由于磁隧道效应元件(组) 11 和磁隧道效应元件(组) 21 在结构上是相同的, 因此下文将作为代表例描述磁隧道效应元件(组) 11, 省略了磁隧道效应元件(组) 21 的描述。

如放大的平面图 2 所示, 磁隧道效应元件(组) 11 由多个(在本例中是 20 个) 串连连接的磁隧道效应元件构成。每个磁隧道效应元件包含多个下电极(lower electrode) 12, 下电极 12 在衬底 10 上的平面图中呈矩形, 图 3 显示了沿图 2 的 1-1 面的剖面图。将下电极 12 排成列, 彼此在横向上隔开预定的距离。下电极 12 由导电的非磁性金属材料 Ta (可以是 Cr 或 Ti) 制成, 并且厚大约 30nm。在每个下电极 12 上分别层叠由 PtMn 制成的、厚大约 30nm 的反铁磁膜 13, 并且将反铁磁膜 13 形成为与下电极 12 一样的平面形状。

在每个反铁磁膜 13 上, 以一定间隔层叠由 NiFe 制成的、厚大约 20nm 的铁磁膜对 14、14。在平面图中, 这些铁磁膜对 14、14 具有矩形形状, 并且排列为其长边彼此平行相对。铁磁膜 14、14 构成钉扎层, 其中磁化方向被反铁磁膜 13 钉扎。在图 4 的局部放大图的箭头方向上(即在向右的方向上)将铁磁膜 14、14 磁化。这里, 反铁磁膜 13 和铁磁膜(钉扎层) 14、14 构成固定的磁化层, 其中铁磁膜 14、14 磁化方向基本固定(即具有固定的磁化轴 axis)。

在每个铁磁膜 14 上形成绝缘层 15, 绝缘层 15 具有与铁磁膜 14 一样的平面形状。此绝缘层 15 由绝缘材料 Al_2O_3 (Al-O) 制成, 厚度大约为 1nm。

在绝缘层 15 上形成铁磁膜 16, 铁磁膜 16 具有与绝缘层 15 一样的平面形状, 并且由厚 80nm 的 NiFe 制成。此铁磁膜 16 构成自由层(自由磁

化层)，其磁化方向随着外磁场的方向而变化，并且此铁磁膜 16 与由前述铁磁膜 14 制成的钉扎层和前述绝缘层 15 一起构成磁隧道结结构。换句话说，反铁磁膜 13、铁磁膜 14、绝缘层 15 和铁磁膜 16 构成一个磁隧道效应元件（除了电极和其它）。

5 在每个铁磁膜 16 上分别形成虚设膜 17，虚设膜 17 具有与每个铁磁膜 16 相同的平面形状。用由 Ta 膜制成的、厚大约 40nm 的导电非磁性金属材料构成此虚设膜 17。

在覆盖衬底 10、下电极 12、反铁磁膜 13、铁磁膜 14、绝缘层 15、铁磁膜 16 和虚设膜 17 的区域中形成层间绝缘层 18，用于绝缘隔离多个下电
10 极 12 和反铁磁膜 13，并且用于绝缘隔离设置在每个反铁磁膜 13 上的各个铁磁膜对 14、绝缘膜对 15、铁磁膜对 16 和虚设膜对 17。层间绝缘层 18 由 SiO_2 制成并且厚大约 250nm。

穿过此层间绝缘层 18，在每个虚设膜 17 上分别形成接触孔 18a。分别形成如用铝 (Al) 制成的、厚大约 300nm 的上电极 19、19，以便填充到接
15 触孔 18a 中，并且电连接设置在不同下电极 12（和反铁磁膜 13）上的虚设膜对 17、17 中的每一个。这样，通过将相邻的磁隧道结结构的铁磁膜 16、16 中的每一个（虚设膜 17、17 中的每一个）和反铁磁膜 13、13 中的每一个与下电极 12、反铁磁膜 13 和上电极 19 交替依次连接，形成了磁隧道效应元件（组）11，在磁隧道效应元件（组）11 中，其钉扎层具有
20 相同的磁化方向的多个磁隧道结结构串连接。这里，在上电极 19、19 上形成了由 SiO 和 SiN 制成的保护膜（说明省略）。

线圈 30 用于给上述磁隧道效应元件（组）11、21 提供交流偏转磁场，并且线圈 30 埋置在衬底 10 的上部中，以便位于磁隧道效应元件（组）11、21 的下面并在与磁隧道效应元件（组）11、21 的钉扎层的磁化方向平行

的方向上延伸。

下面，将参考图 5 至 17 描述上述磁隧道效应元件的制造方法。

在图 5 至 12 和图 14 至 17 中，为了说明，示出了由串连连接的四个磁隧道效应元件制成的磁隧道效应元件组。不过，在这些图中，省略了线圈 5 30 的描述。

首先，如图 5 所示，通过在衬底 10（在此步骤，它是一块衬底，通过以后的划片 dicing 工艺，将由此衬底得到多个磁传感器）上溅射形成构成下电极 12 的、由 Ta 制成的膜，膜厚为大约 30nm。然后，通过溅射分别形成由 PtMn 制成的膜和由 NiFe 制成的膜，用于构成固定磁化层的反铁磁膜 13 和铁磁膜（钉扎层）14，膜厚分别为 30nm 和 20nm。在此描述中，下电极 12、将作为反铁磁膜 13 的 PtMn 膜和将作为铁磁膜 14 的 FeNi 膜被称为下磁层 SJ。

此后，层叠仅 1nm 的铝，并且用氧气氧化铝，形成 Al_2O_3 （Al-O）膜作为绝缘层 15。接着，例如通过溅射形成由 NiFe 构成的膜，用此膜构成自由层的铁磁膜 16，厚度为 80nm，在其上形成由 Ta 制成的膜，用来构成虚设膜 17，厚度为 40nm。这里，铁磁膜 16 和虚设膜 17 被称为上磁层 UJ。然后，利用离子铣刀等，加工分隔上磁层 UJ，如图 6 所示。加工分隔下磁层 SJ，如图 7 所示，最终，形成一个预定结构层。

然后，如图 8 所示，通过溅射形成构成层间绝缘层 18 的、由 SiO_2 构成的膜，使得在元件上其厚度将为 250nm，通过溅射在其上形成由 Cr 制成的膜和由 NiFe 制成的膜，厚度分别为 100nm 和 50nm，作为镀覆的底层膜。然后，涂覆抗蚀剂 51，如图 9 所示。将抗蚀剂 51 布图为预定的形状，以便不覆盖后面将进行镀覆的部分。

然后，如图 10 所示，用 NiCo 镀覆薄片，作为磁场施加磁层。例如将

NiCo 的厚度设为 $10\mu\text{m}$ 。然后，如图 11 所示，除去抗蚀剂之后，对整个表面进行铣削，（Ar 铣削）以除去作为镀覆底层膜形成的 NiFe，如图 12 所示。

图 13 是在此状态的薄片的平面图。在图 13 中，为了方便，用参考标号 10 代表通过后面的划片工序将彼此分离的每个衬底。参考图 13，通过前面对抗蚀剂的布图，形成每个磁场施加磁层（NiCo），该磁场施加磁层（NiCo）具有通常的正方形形状，其中心位于后面将彼此分离的四个相邻衬底 10 的中心，并且设置磁场施加磁层（NiCo），使得在纵向上和横向上排除刚好位于磁隧道效应元件（组）11、21 上的部分（portion）（即，使得夹持将作为磁隧道效应元件（组）11、21 的层，该层具有预定结构，在平面图中，在该处形成了包含将作为钉扎层磁层的下磁层 SJ）。在此状态下，在与每个磁场施加磁层形成的正方形的对角线平行的方向上施加强度大约为 1000（oe）的磁场，使得磁场施加磁层在图 13 中箭头 A 所示的方向上磁化。

然后，除去上述磁场。此时，磁场施加磁层的剩磁磁化在从每个磁场施加磁层的上边到相邻的磁场施加磁层的下边的方向上产生磁场，并且在从每个磁场施加磁层的右侧到相邻的磁场施加磁层的左侧的方向上产生磁场，如图 13 中的箭头 B 所示。为此，在将成为此隧道效应元件（组）11、21 的部分施加了平行于该部分的长度方向的磁场。然后，为了将由 PtMn 制成的反铁磁膜 13 形成为有序合金，并且提供交换耦合磁场 H_{ex} ，将薄片放到高温环境中进行高温退火工序。结果，形成在一个并且相同的衬底 10 上的磁隧道效应元件（组）11 将具有钉扎层，此钉扎层在彼此不同的方向上被磁化（钉扎）（在这种情况下，是在彼此垂直的方向上）。换句话说，每个磁隧道效应元件（组）11、21 将在图 1 中的箭头所示的方

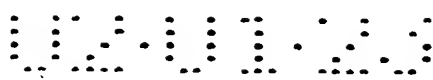
向上具有固定的磁化轴。

接着，如图 14 所示，利用酸除去镀覆膜 NiCo 和溅射的 NiFe，利用铣
削除去 Cr，如图 15 所示。此后，如图 16 所示，穿过层间绝缘膜 18 形成
接触孔 18a；如图 17 所示，通过溅射形成厚 300nm 的 Al 膜；将 Al 膜加工
5 为布线图形，以形成上电极 19。

然后，在衬底 10 上形成图 1 所示的电极焊盘 40a 至 40f，将电极焊盘
40a 至 40f 分别连接到磁隧道效应元件（组）11、21 和线圈 30。最后，通
过 CVD 形成由 SiO 制成的、厚 150nm 的膜（未示出）和由 SiN 制成的、厚
1000nm 的膜（未示出），作为保护膜（钝化膜）。此后，通过铣削、反应
10 离子蚀刻或利用抗蚀剂掩模的蚀刻打开部分保护膜，以便露出电极焊盘
40a 至 40f。接着，对衬底进行回磨（通过研磨减薄）；通过划片将衬底
分为各个磁传感器；最后，进行封装。

这样制造了磁隧道效应元件（组）11 并示于图 1，施加外磁场，该外
磁场沿着图 1 所示的 X 轴方向和垂直于 X 轴的 Y 轴方向的各个轴改变强度，
15 以便测量施加磁场时的电阻变化率 MR (MR 率)。结果示于图 18 和 19，从图
18 和 19 将可以看出，磁隧道效应元件（组）11 的 MR 率随外磁场在 X 轴
方向变化而变化的幅度比随外磁场在 Y 轴方向的变化而变化的幅度更大。
这就证实了在磁隧道效应元件（组）11 中，其钉扎层的磁化方向平行于 X
轴。

20 同样，对于图 1 所示的磁隧道效应元件（组）21，施加外磁场，该外
磁场沿着图 1 所示的 X 轴方向和垂直于 X 轴的 Y 轴方向的各个轴改变强度，
以便测量施加磁场时的电阻变化率 MR (MR 率)。结果示于图 20 和 21，从图
20 和 21 将可以看出，磁隧道效应元件（组）21 的 MR 率随外磁场在 Y 轴
方向变化而变化的幅度比随外磁场在 X 轴方向的变化而变化的幅度更大。



这就证实了在磁隧道效应元件（组）21 中，其钉扎层的磁化方向平行于 Y 轴。换句话说，已经证实在一个并且相同的衬底 10 上，此磁传感器具有两个具有钉扎层的磁隧道效应元件（磁阻效应元件），其中钉扎层被钉扎，使得其磁化方向彼此不同（即，使得其磁化方向彼此相交）。

5 下面将描述根据第二实施例的磁传感器。

第二实施例与第一实施例的区别仅在于：第一实施例的固定磁化层用 PtMn 和 NiFe 构成，而第二实施例的磁化层由厚 30nm 的 MnRh 膜和厚 40nm 的 NiFe 膜（钉扎层）构成。另一方面，由于这种固定磁化层的材料不同，制造第二实施例的方法与第一实施例稍有不同，下面将具体描述。

10 即，在第二实施例中，如图 22 所示，通过溅射在衬底 10 上形成厚 30nm 的 Ta 膜、厚 30nm 的 MnRh 膜和厚 40nm 的 NiFe 膜，以便形成下磁层 SJ，接着，形成 1nm 的 Al 膜，并氧化该 Al 膜，以形成绝缘层 15，在其上形成厚 40nm 的 NiFe 膜和厚 40nm 的 Ta 膜，以便形成上磁层 UJ。

接着，如图 23 所示，加工分隔上磁层 UJ，加工分隔下磁层 SJ，如图
15 24 所示。然后，如图 25 所示，溅射 SiO_2 形成厚 250nm 的膜，以形成层间绝缘层 18，然后穿过层间绝缘层 18 形成接触孔 18a，如图 26 所示。接着，如图 27 所示，溅射 Al 形成厚 300nm 的膜，并加工成布线图形，以形成上电极 19。然后，如图 28 所示，通过 CVD 形成由 SiO 和 SiN 制成的保护膜 20。

20 然后，如图 29 所示，通过溅射形成由 Cr 制成的膜和由 NiFe 制成的膜，它们分别厚 100nm 和 50nm，作为镀覆的底层，接着，涂覆抗蚀剂 51，如图 30 所示，将抗蚀剂 51 布置为预定的形状，使其不覆盖后面将进行镀覆的部分。

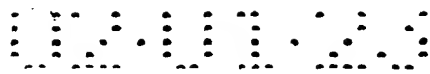
然后，如图 31 所示，用 NiCo 镀覆薄片作为施加磁场层。例如，将 NiCo

的厚度设定为 $10\mu\text{m}$ 。然后，如图 32 所示，除去抗蚀剂之后，对整个表面进行铣削（Ar 铣削），以除去形成镀覆底层膜的 NiFe，如图 33 所示。在此步骤，薄片处于图 13 所示的状态。在这种状态下，在与每个磁场施加磁层形成的正方形的对角线平行的方向上施加大约 1000 (oe) 强度的磁场，以便在图 13 中的箭头 A 所示的方向上使磁场施加磁层磁化。此后，除去磁场。

此时，对于后面将成为磁隧道效应元件（组）11'、21' 的部分，通过 NiCo 的剩磁磁化施加磁场，该磁场平行于上述部分的长度方向。然后，将薄片放入高温环境中进行高温退火工序。结果，形成在一个并且是相同的衬底 10' 上的磁隧道效应元件（组）11'、21' 将具有在彼此不同的方向上磁化（钉扎）的钉扎层（在这种情况下，在彼此垂直的方向上）。完成高温退火工序之后，用酸除去镀覆膜 NiCo 和镀覆的底层膜 NiFe，如图 34 所示，通过铣削除去镀覆的底层膜 Cr，如图 35 所示。此后，进行与第一实施例一样的工序。

对于如此制造并示于图 1 的磁隧道效应元件（组）（图 1 所示的 11'），施加外磁场，该外磁场沿着 X 轴方向和垂直于 X 轴的 Y 轴方向的各个轴改变强度，以便测量施加磁场时的电阻变化率 MR (MR 率)。结果示于图 36 和 37，从图 36 和 37 将可以看出，磁隧道效应元件（组）11' 的 MR 率随外磁场在 X 轴方向变化而变化的幅度比随外磁场在 Y 轴方向的变化而变化的幅度更大。这就证实了在磁隧道效应元件（组）11' 中，其钉扎层的磁化方向平行于 X 轴。

同样，对于图 1 所示的磁隧道效应元件（组）21'，施加外磁场，该外磁场沿着 X 轴方向和垂直于 X 轴的 Y 轴方向的各个轴改变强度，以便测量施加磁场时的电阻变化率 MR (MR 率)。结果示于图 38 和 39，从图 38 和



39 将可以看出，磁隧道效应元件（组）21' 的 MR 率随外磁场在 Y 轴方向变化而变化的幅度比随外磁场在 X 轴方向的变化而变化的幅度更大。这就证实了在磁隧道效应元件（组）21' 中，其钉扎层的磁化方向平行于 Y 轴。换句话说，已经证实在一个并且相同的衬底 10' 上，根据第二实施例的磁传感器具有两个具有钉扎层的磁隧道效应元件（磁阻效应元件），其中钉扎层被钉扎，使得其磁化方向彼此相交（即，彼此不同）。

如上所述，根据第一和第二实施例的磁传感器在一个并且是相同的衬底上（在一个基片上）具有磁隧道效应元件，在磁隧道效应元件中，钉扎层的磁化方向彼此相交（即，至少两个钉扎层的磁化方向形成的角度不是 0° 和 180°）。为此，可以将这些磁传感器用作弱磁传感器（例如，用作地磁传感器等），这种磁传感器需要在不同的方向检测磁场。而且，根据上述实施例的方法，这些传感器很容易制造。

这里，在第一实施例中，既然 PtMn 用在固定磁化层中，磁层中钉扎层的磁化方向必须在将薄片刚放入高温的同时钉扎钉扎层，因此，在为了形成保护膜通过 CVD 等进行高温处理之前的步骤，对薄片进行高温退火工序。相反，在第二实施例中，用 MnRh 作为固定磁化层。如果在高温退火工序之后进行另外的高温处理，将降低 MnRh 的质量。因此，在第二实施例中，在为了形成保护膜通过 CVD 等进行高温处理之后，进行高温退火工序。

此外，根据上述第一和第二实施例的制造方法，一个可以得到一种磁隧道效应元件（组），该磁隧道效应元件（组）对要检测的外磁场呈现平滑的函数性能。换句话说，当给磁隧道效应元件组 11、21、11'、21' 施加在垂直于钉扎层的磁化方向的方向上强度变化的磁场时，钉扎层的磁化平滑变化，如图 40 的线 LP 所示。另一方面，由于形状的各向异性，这些元件的自由层对上述外磁场的方向敏感反应，并且将外磁场接近于“0”

附近时，自由层的磁化呈阶式变化，如图 40 所示。结果，当外磁场为“0”时，在钉扎层的磁化方向和自由层的磁化方向之间形成的相关角度达到最大值，（大约 90° ），随着外磁层强度（绝对值）的增加，相关角度减小。这可以通过图 19、20、37 和 38 得到证实。

5 此外，从图 13 也可以清楚地看出，当在图 13 中的箭头 A 所示的预定方向上磁化镀覆膜（NiCo）时，所述镀覆膜（NiCo）构成每个磁场施加磁层时，在通过镀覆膜的剩磁磁化在镀覆膜之间产生的磁场方向将与镀覆膜的磁化方向不同，而将在与镀覆膜 M 的端表面垂直的方向上，如图 13 中的箭头 B 所示。因此，如图 41 所示，如果设计镀覆膜 M 的端面形状，并
10 在箭头 C 所示的方向上磁化此镀覆膜，可以在薄片上的适当位置处局部产生所需要的方向的磁场（由箭头 D 所示的方向）。因此，通过利用这种方式，可以在一个衬底上制造具有固定磁化轴的磁隧道效应元件 TMR1、TMR2（在一个基片上的磁隧道效应元件 TMR1、TMR2，其中钉扎层的磁化方向彼此相交）。

15 下面将描述根据本发明第三实施例的磁传感器。当用 TMR 元件构成上述第一和第二实施例的磁传感器时，第三实施例的磁传感器由 GMR 元件构成。此外，此磁传感器配置有用于检测 X 轴方向的磁场的 X 轴传感器和用于检测 Y 轴方向的磁场的 Y 轴磁传感器，其中 Y 轴垂至于 X 轴。

更具体地说，此磁传感器 60 具有矩形（通常是正方形）形状，具有在
20 如图 42 所示的平面图中彼此垂直的、沿着 X 轴和 Y 轴的侧边，并且磁传感器 60 包含：由石英玻璃制成的单个基片（相同的衬底）60a，该基片 60a 在垂直于 X 轴和 Y 轴的 Z 轴方向上厚度很小；形成在基片 60a 上的八个 GMR 元件 61-64、71-74；形成在基片 60a 上的八个焊盘 65-68、75-78；和连接焊盘和元件的连接线。

在 X 轴的负方向上的基片 60a 的端部附近和总的来说在 Y 轴方向的基片 60a 的中央部分稍下一点的位置形成第一 X 轴 GMR 元件 61, 钉扎层的钉扎磁化方向在 X 轴的负方向上, 如图 42 中的箭头所示。在 X 轴的负方向的基片 60a 的端部附近和总的来说在 Y 轴方向的基片 60a 的中央部分稍上一点的位置形成第二 X 轴 GMR 元件 62, 钉扎层的钉扎磁化方向在 X 轴的负方向上, 如图 42 中的箭头所示。在 X 轴的正方向的基片 60a 的端部附近和总的来说在 Y 轴方向的基片 60a 的中央部分稍上一点的位置形成第三 X 轴 GMR 元件 63, 钉扎层的钉扎磁化方向在 X 轴的正方向上, 如图 42 中的箭头所示。在 X 轴的正方向上的基片 60a 的端部附近和总的来说在 Y 轴方向的基片 60a 的中央部分稍下一点的位置形成第四 X 轴 GMR 元件 64, 钉扎层的钉扎磁化方向在 X 轴的正方向上, 如图 42 中的箭头所示。

在 Y 轴的正方向上的基片 60a 的端部附近和总的来说在 X 轴方向上的基片 60a 的中央部分稍左的位置形成第一 Y 轴 GMR 元件 71, 钉扎层的钉扎磁化方向在 Y 轴的正方向上, 如图 42 中的箭头所示。在 Y 轴的正方向上的基片 60a 的端部附近和总的来说在 X 轴方向上的基片 60a 的中央部分稍右的位置形成第二 Y 轴 GMR 元件 72, 钉扎层的钉扎磁化方向在 Y 轴的正方向上, 如图 42 中的箭头所示。在 Y 轴的负方向上的基片 60a 的端部附近和总的来说在 X 轴方向上的基片 60a 的中央部分稍右的位置形成第三 Y 轴 GMR 元件 73, 钉扎层的钉扎磁化方向在 Y 轴的负方向上, 如图 42 中的箭头所示。在 Y 轴的负方向上的基片 60a 的端部附近和总的来说在 X 轴方向上的基片 60a 的中央部分稍左的位置形成第四 Y 轴 GMR 元件 74, 钉扎层的钉扎磁化方向在 Y 轴的负方向上, 如图 42 中的箭头所示。

GMR 元件 61-64、71-74 具有基本上彼此相同的结构, 除了它们在基片 60a 上的位置和相对于基片 60a 钉扎层的钉扎磁化方向不同。因此下文

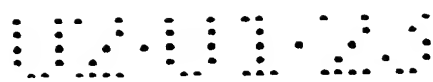
将第一 X 轴 GMR 元件 61 作为代表例来描述它们的结构。

如第一 X 轴 GMR 元件 61 的平面图 43 和沿图 43 的 2-2 线的剖面示意图 44 所示, 第一 X 轴 GMR 元件 61 包含由自旋阀膜 (spin valve) 膜 SV 制成并且用 Y 轴方向作为其纵向的多个窄带形部分 61a.....61a 和由如
5 CoCrPt 硬铁磁材料制成的偏磁膜 (硬铁磁薄膜层) 61b...61b, 偏磁膜 61b.....61b 形成在 Y 轴方向上的每个窄带形部分 61a 的两个端部下面。每个窄带形部分 61a...61a 在每个偏磁膜 61b 的上表面上在 X 轴方向延伸, 并且与相邻的窄带形部分 61a 连接。

如图 45 中的膜结构所示, 第一 X 轴 GMR 元件 61 的自旋阀膜 SV 由自由
10 层 (自由磁化层) F、由 Cu 制成的厚 2.4nm (24Å) 的导电隔层 S、钉扎固定磁化层 P 和顶层 C 构成, 然后层叠到构成衬底的基片 60a 上, 所示顶层 C 由钛 (Ti) 或钽 (Ta) 制成, 并且厚 2.5nm (25Å) 的厚度。

自由层 F 是其磁化方向随外磁场方向变化的层, 并且由形成在基片 60a 上面的 CoZrNb 非晶磁层 61-1、形成在 CoZrNb 非晶磁层 61-1 上面的 NiFe
15 磁层 61-2 和形成在 NiFe 磁层 61-2 上面的 CoFe 层 61-3 构成, CoZrNb 非晶磁层 61-1 的厚度为 8nm (80 Å), NiFe 磁层 61-2 的厚度为 3.3nm (33 Å), CoFe 层 61-3 的厚度为大约 1-3nm (10-30 Å)。CoZrNb 非晶磁层 61-1 和 NiFe 磁层 61-2 构成软磁薄膜层。CoFe 层 61-3 用于防止 NiFe 层 61-2 中的 Ni 和隔层 S61-4 中的 Cu 的扩散。这里, 上述偏磁膜 61b...61b 在 Y 轴
20 方向 (图 43 中的箭头所示的右和左方向) 给自由层 F 施加偏磁场, 用于保持自由层 F 的同轴各向异性。

固定磁化层 P 是厚 2.2nm (22 Å) 的 CoFe 磁层 61-5 和厚 24nm (240 Å) 的反铁磁膜 61-6 的层, 反铁磁膜 61-6 由包含 45-55 摩尔 % Pt 的 PtMn 合金形成。以交换耦合的方式顺着 CoFe 磁层 61-5 衬以磁化的反铁磁膜 61-6,



以便构成其磁化方向钉扎（固定）在 X 轴负方向上的钉扎层。

如此构成的第一 X 轴 GMR 元件 61 具有与外电场成正比变化的电阻值，该外磁场沿着 X 轴在 $-H_c$ 到 $+H_c$ 的范围内变化，并且具有随沿 Y 轴变化的外磁场恒定的电阻值，如图 46 中的虚线所示。

5 通过第一至第四 X 轴 GMR 元件 61-64 的全桥连接构成 X 轴磁传感器，如图 47 中的等效电路所示。这里，在图 47 中箭头表示 GMR 元件 61-64 的钉扎层的钉扎磁化方向。在这种结构中，焊盘 67 和焊盘 68 分别与恒定的电源（未示出）的正极和负极连接，以便给出电压 V_{xin+} （在本例中是 5V）和电压 V_{xin-} （在本例中是 0V）。然后取出焊盘 65 和焊盘 66 的电压，作为电压 V_{xout+} 和 V_{xout-} ，取出它们（ $V_{xout+} - V_{xout-}$ ）的电压差，作为传感器的输出 V_{xout} 。结果，X 轴磁传感器显示了通常与外电场成正比变化的输出电压 V_{xout} ，此外磁场沿着 X 轴在 $-H_c$ 到 $+H_c$ 的范围内变化，如图 48 中的实线所示，并且 X 轴磁传感器还显示了随沿 Y 轴变化的外磁场的“0”输出电压，如图 48 中的虚线所示。

15 以与 X 轴磁传感器一样的方式，通过第一至第四 Y 轴 GMR 元件的完全桥连构成 Y 轴磁传感器。此外，焊盘 77 和焊盘 78 分别与恒定电源（未示出）的正极和负极连接，以便给出电压 V_{yin+} （在本例中是 5V）和电压 V_{yin-} （在本例中是 0V）。然后，取焊盘 75 和焊盘 76 之间的电压差，作为传感器的输出电压 V_{yout} 。结果，Y 轴磁传感器显示了与沿着 Y 轴在 $-H_c$ 至 $+H_c$ 范围内变化的外磁场成比例的输出电压 V_{yout} ，如图 49 中的虚线所示，并且显示了总的来说随沿 X 轴变化的外磁场的“0”输出电压，如图 49 中的实线所示。

下面将描述以上述方式构成的磁传感器 60 的制造方法。首先，如平面图 50 所示，在矩形石英玻璃 60a1 上以岛状方式形成由上述自旋阀膜 SV

制成的多个膜 M 和将构成 GMR 元件的上述偏磁膜 61b。利用超级高真空装置通过顺序层叠将膜 M 形成到精确的厚度。形成这些膜 M，使得当通过后面进行的切割工艺沿着图 50 的虚线切割石英玻璃 60a1，将其分为图 42 所示的各个基片 60a 时，膜 M 将位于图 42 所示的 GMR 元件 61-64、71-74 的位置。此外，在石英玻璃 60a1 的四个角形成除了十字形状以外具有矩形形状的对准（定位）掩膜 60b。

然后，如平面图 51 和沿图 51 的 3-3 线切得的剖面图 52 所示，准备矩形金属板 81，其中以正方形点阵结构形成了多个正方形通孔（即，彼此等间距地沿着 X 轴和 Y 轴形成正方形通孔，此正方形通孔具有平行于 X 轴和 Y 轴的边）。然后，将平行六面体形并且具有几乎与通孔一样的正方形截面的永久条形磁铁 82...82 插入金属板 81 的通孔中，使得形成磁极处永久条形磁铁 82...82 的端面平行于金属板 81。此时，排列永久条形磁铁 82...82，使得每个条形磁铁 82 的磁极的极性与和其相邻并间隔最短距离的其它永久条形磁铁 82 的磁极的极性不同。这里，采用的永久条形磁铁 82...82 具有相同大小的磁荷。

然后，如平面图 53 所示，准备厚大约 0.5nm、由透明的石英玻璃制成的板 83，此板 83 具有与上述金属板 81 几乎一样的矩形性长，让此板 83 在四个角上具有用于定位的、与上述石英玻璃 60a1 的对准掩模相匹配的形状的对准（定位）掩模 83a。此外，在中央部分，在与插入上述金属板 81 的永久条形磁铁 82...82 的外形相对应的位置形成对准掩模 83b。接着，如图 54 所示，利用粘合剂将永久条形磁铁 82...82 的上表面粘接到板 83 的下表面。此时，通过对准掩模 83b 确定永久条形磁铁 82 相对于板 83 的相对位置。然后，从下侧除去金属板 81。在此步骤，永久条形磁铁 82...82 和板 83 形成以下列方式构成的瓷阵列：即在正方形阵列的格点处设置了



多个具有构成磁极的正方形端面的永久磁铁，每个永久磁铁的磁极的极性与和其相邻并间隔最短距离的其它永久条形磁铁 82 的磁极的极性不同。

然后，如图 55 所示，定位石英玻璃 60a1，使得其上形成了将成为 GMR 元件的膜的表面与板 83 的上表面接触，在石英玻璃 60a1 中，形成了将成为 GMR 元件的膜（包含将成为钉扎层的磁层的层，即，该层包含成为固定磁化层的磁层）。通过使对准掩模 83a 的十字形与各个与上述对准掩模 60b 的已经去除了十字形的部分相吻合来精确地确定石英玻璃 60a1 相对于板 83 的相对位置。

图 56 是说明其中已经选取四个上述永久条形磁铁 82...82 的状态的透视图。从此图可以清楚地看出，在永久条形磁铁 82...82 的上表面上，形成的磁场从一个 N 极指向与 N 极相邻的距离最短的四个 S 极，即，在彼此相差 90°的四个方向。因此，如图 57 的模型图所示，在将石英玻璃 60a1 放置在图 55 所示的板 83 的上表面上的状态下，在 Y 轴的正方向、X 轴的正方向、Y 轴的负方向和 X 轴的负方向的磁场施加给与 N 极的正方形端面的每个边平行并且将成为 GMR 元件的膜。

在本实施例中，利用这样的磁场，进行热处理以固定固定磁化层 P 的磁化方向（固定磁化层 P 的固定层）。即，在图 55 的状态下，通过夹持器 CL 将板 83 和石英玻璃 60a1 彼此固定，在真空中加热到 250°C 至 280°C，并且使其保持这种状态大约 4 小时。

此后，取出石英玻璃 60a1；形成图 42 所示的焊盘 65-68、75-78；形成连接这些焊盘的布线；最后沿着图 50 所示虚线切割石英玻璃 60a1。上述工艺完成了图 42 所示的磁传感器 60 的制造。

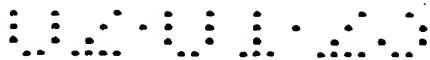
下面将描述利用上述磁传感器对磁性的测量结果。在此测量中，当磁传感器 60 的 Y 轴的正方向指南时，方位角 θ （测量角）限定为 0°，如图

58 所示。测量结果示于图 59。从图 59 可以清楚地看出，实线所示的 X 轴磁传感器输出 S_x 的变化像正弦曲线，虚线所示的 Y 轴磁传感器输出 S_y 的变化像余弦曲线。图 48 和 49 所示的特性正是所预期的结果。

在这种情况下，可以通过下列方式来确定方位角：（1）当 X 轴磁传感器输出 S_x 和 Y 轴磁传感器输出 S_y 都是正值时， $\theta = \arctan(S_x/S_y)$ ；（2）当 Y 轴磁传感器输出 S_y 为负值时， $\theta = 180^\circ + \arctan(S_x/S_y)$ ；（3）当 X 轴磁传感器输出 S_x 为负值，Y 轴磁传感器输出 S_y 为正值时， $\theta = 360^\circ + \arctan(S_x/S_y)$ 。因此，例如可以将磁传感器 60 用作磁性（方位角）传感器，它可以安装到如手提电话的便携式电子设备上。这里，如果当方位角在从 270 至 360 的范围内时，允许从 90°至 0°范围内的显示，那么当输出所 S_y 为正值时，可以通过 $\theta = \arctan(S_x/S_y)$ 来确定方位角，当输出 S_y 为负值时，可以通过 $\theta = 180^\circ + \arctan(S_x/S_y)$ 来确定方位角。

如上所述，根据第三实施例，准备以下列方式构成的磁铁阵列，使得多个永久磁铁设置在正方形格的格点处，每个永久磁铁的磁极的极性与和其相邻并间隔最短距离的其它永久磁铁的磁极的极性不同，利用由磁铁阵列形成的磁场，将成为上述钉扎层的磁层的磁化方向被钉扎。因此，在单个基片上，可以容易地形成 GMR 元件，其中钉扎层地钉扎磁化方向彼此不同（彼此垂直）。此外，通过此方法，可以一次大量制造单个基片，每个基片具有其中钉扎层的钉扎磁化方向彼此不同的 GMR 元件，从而减少单个基片的制造费用。

这里，本发明并不限于上述实施例，在本发明的范围内可以作出各种修改。例如，尽管在上述第一和第二实施例中采用具有大的剩磁磁化的 NiCo 作为镀覆层，但也可以用具有大的剩磁磁化的其它材料（例如 Co）来代替 NiCo。另外，可以将第一和第二实施例中的固定磁化层的固定磁化



方向的方法应用于其它如第三实施例中的具有钉扎层（具有固定磁化轴的层）的磁阻效应元件。此外，尽管在上述三个实施例的固定磁化层中可钉扎层 (pinning layer) 使用 PtMn，但也可以用 FeMn、IrMn 等来代替 PtMn。

说明书附图

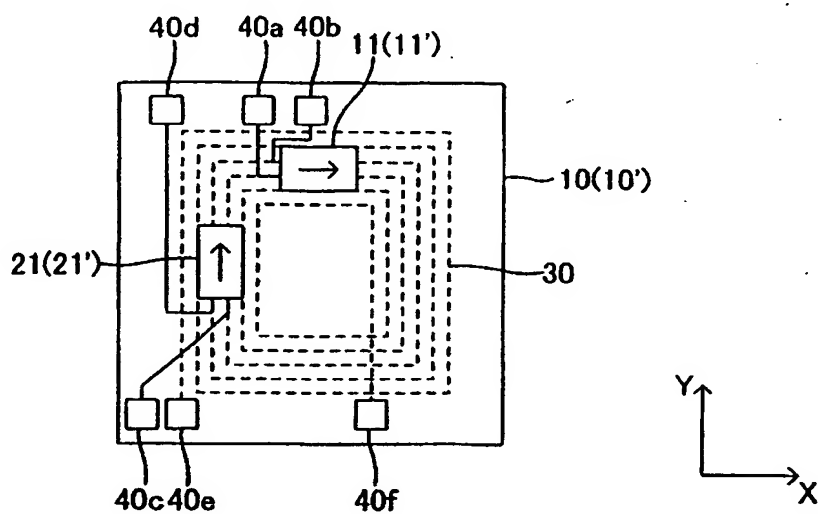


图 1

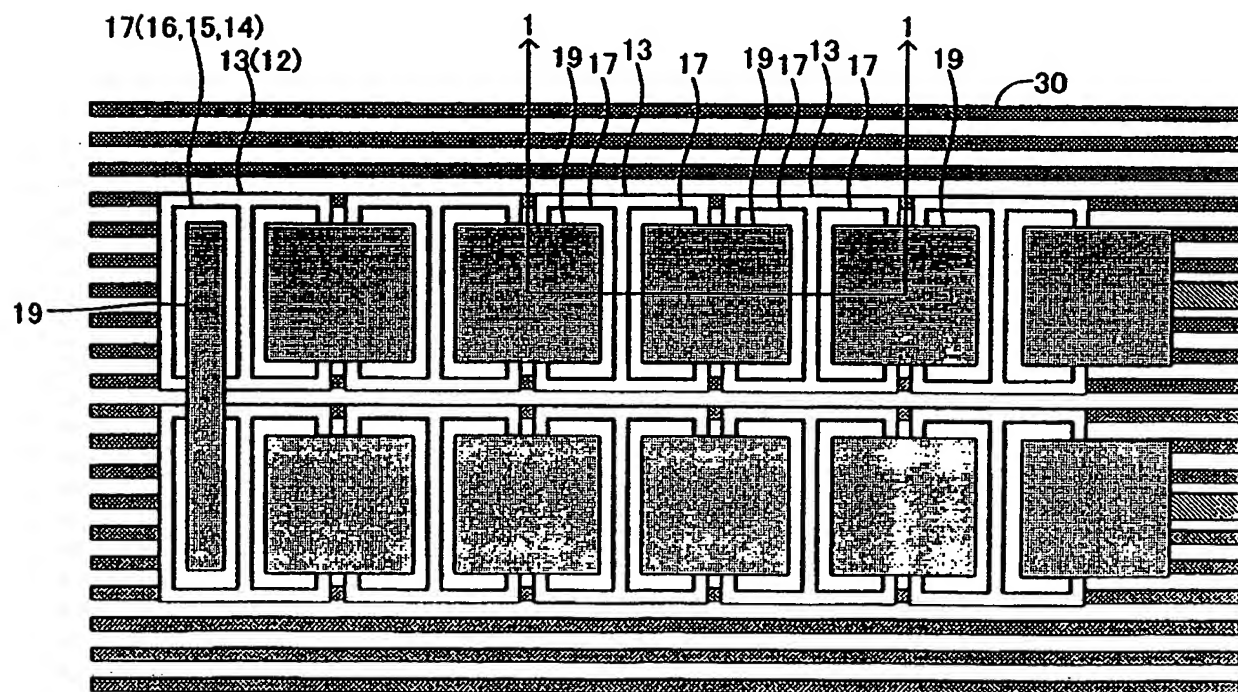


图 2

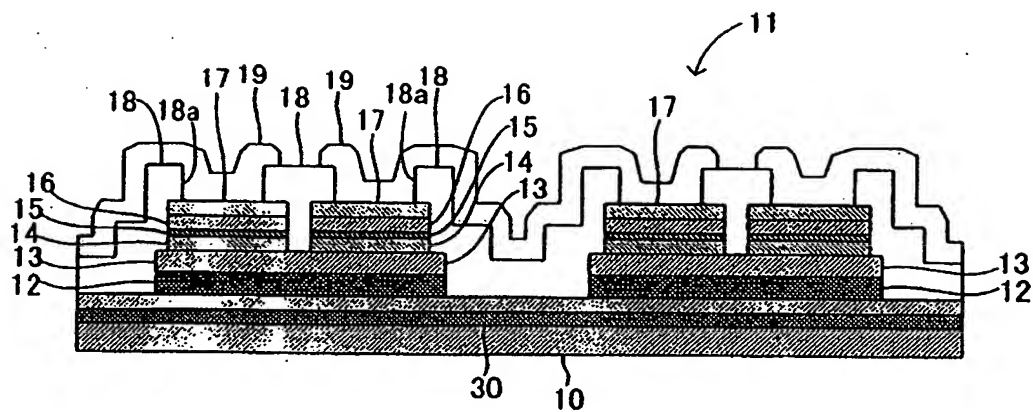


图 3

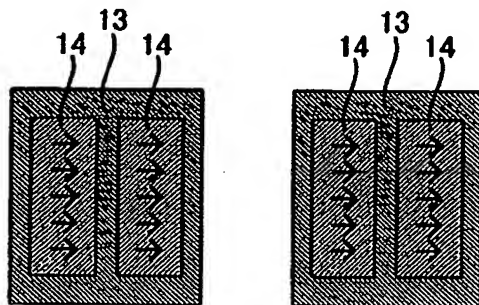


图 4



图 5

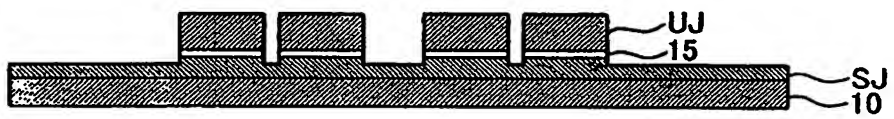


图 6

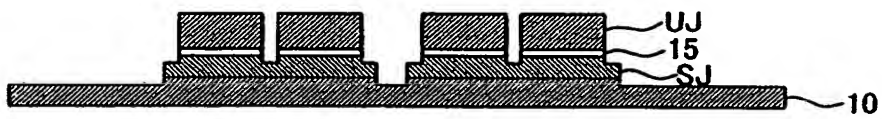


图 7

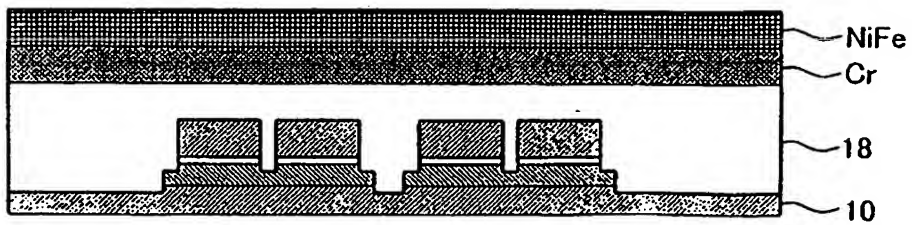


图 8

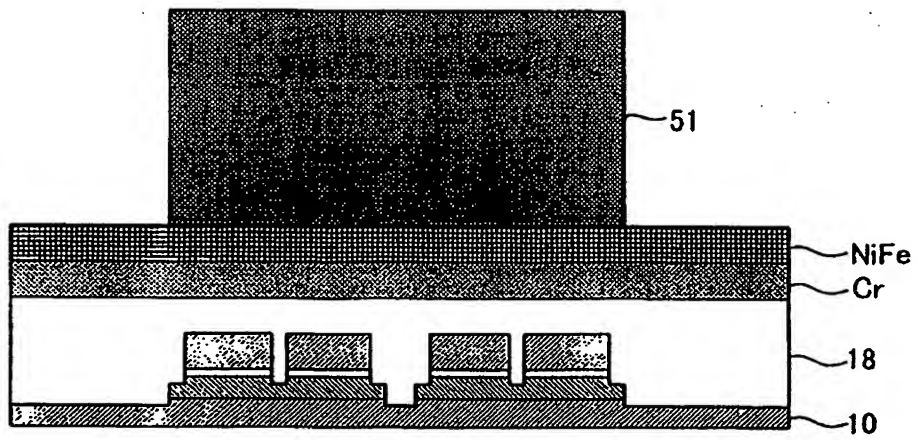


图 9

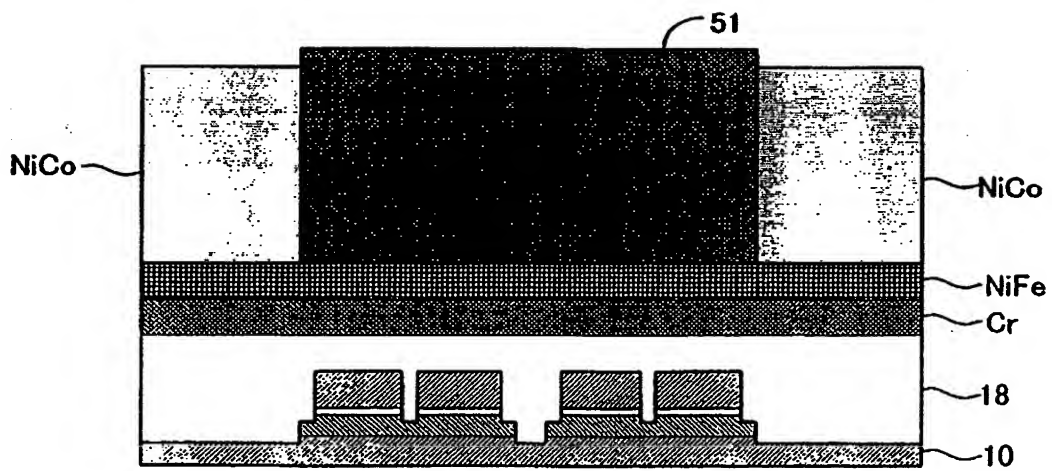


图 10

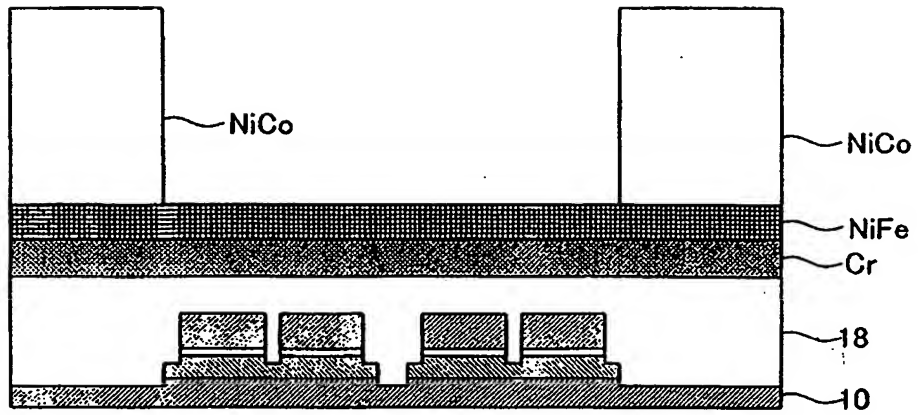


图 11

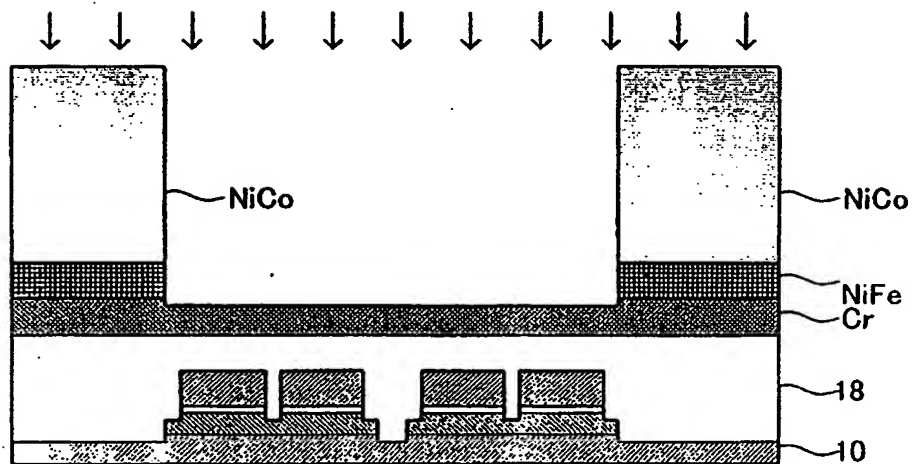


图 12

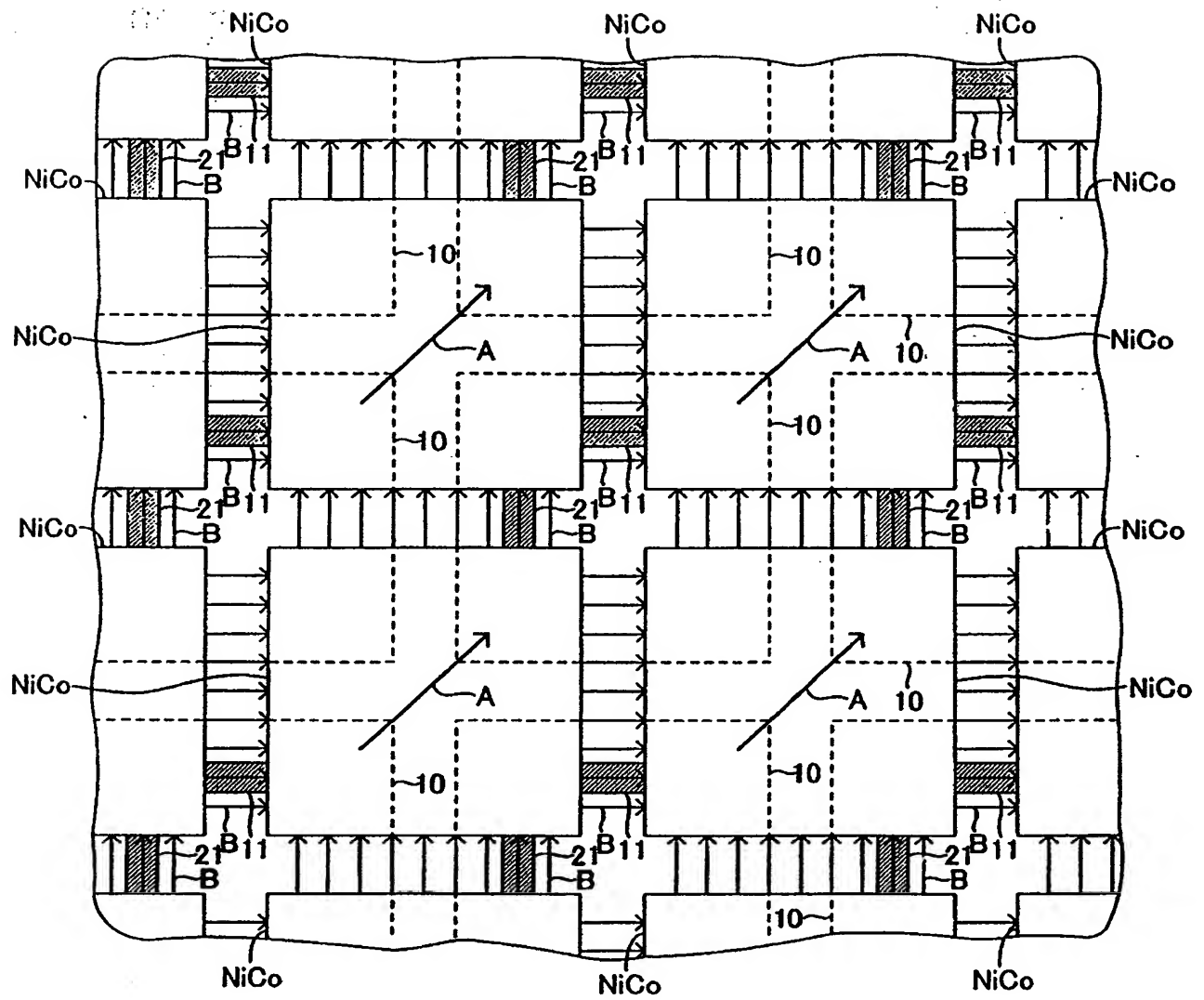


图 13

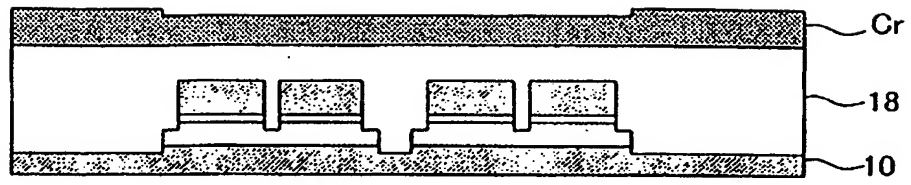


图 14

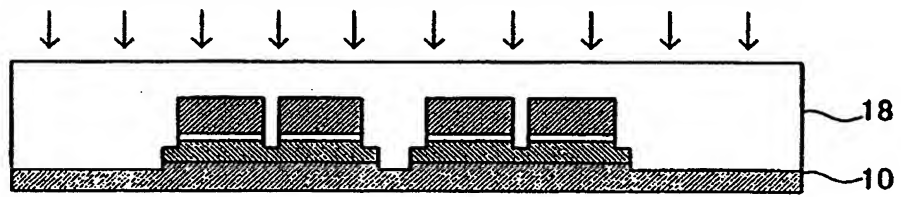


图 15

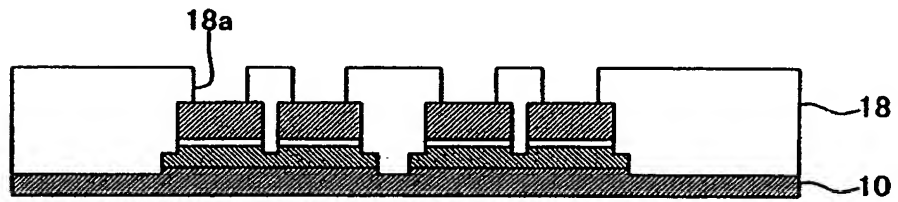


图 16

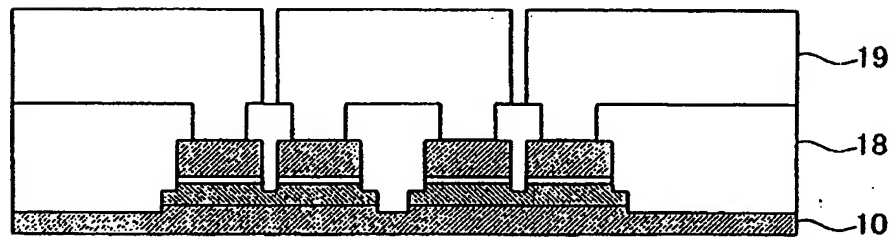


图 17

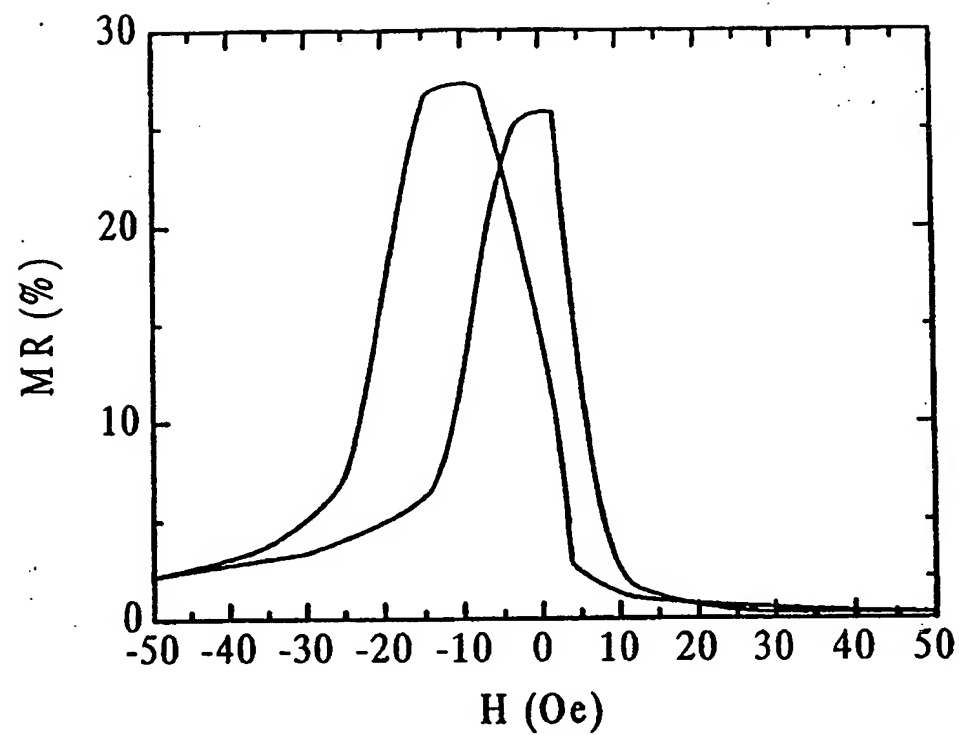


图 18

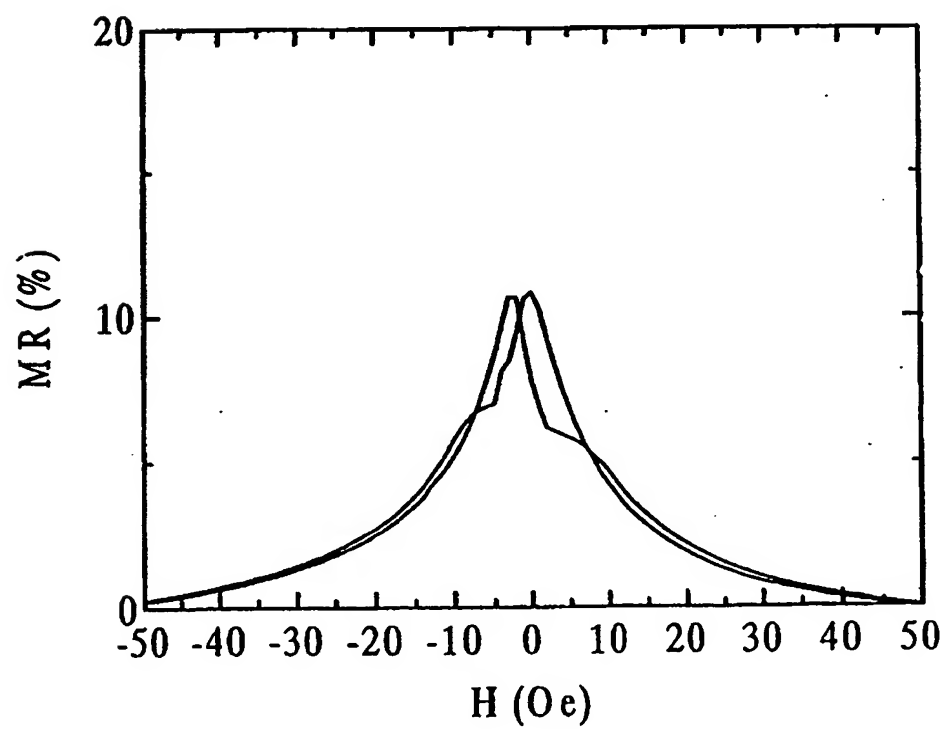


图 19

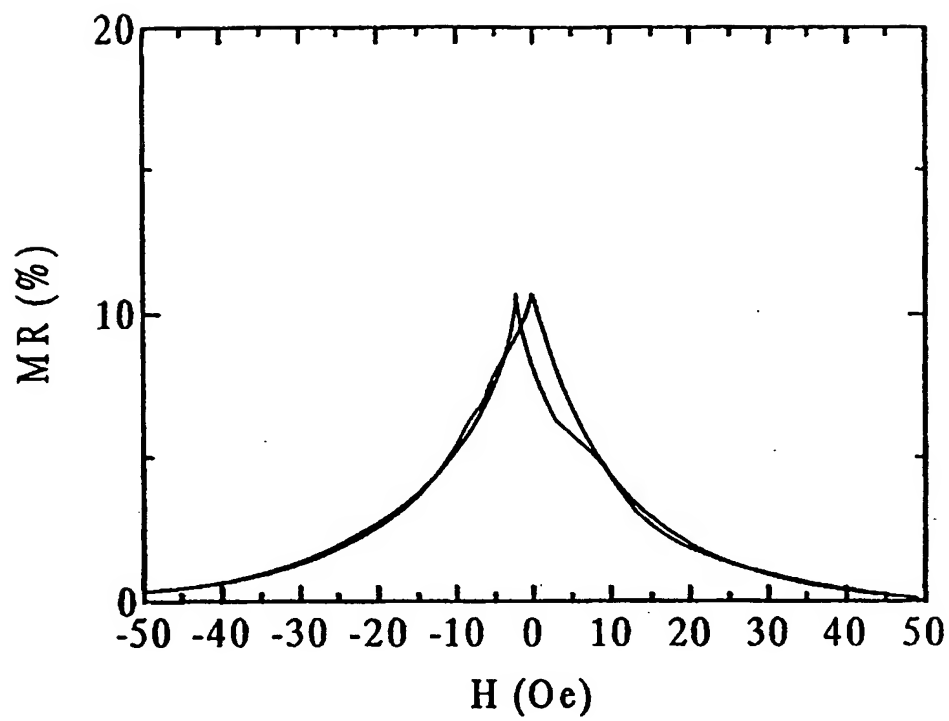


图 20

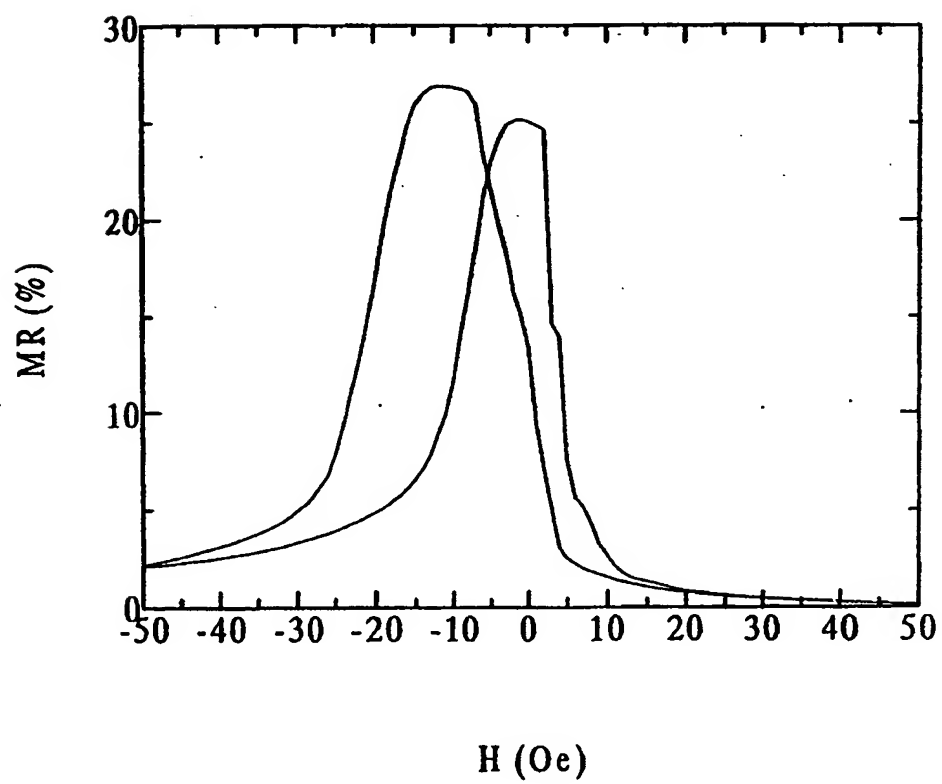


图 21

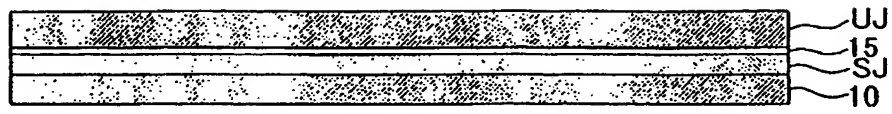


图 22

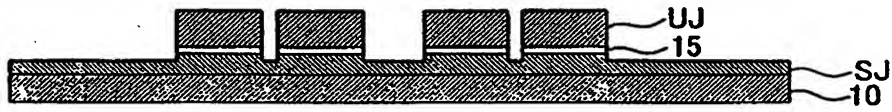


图 23

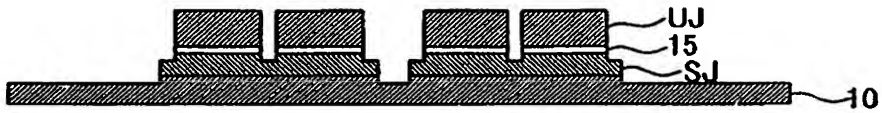


图 24

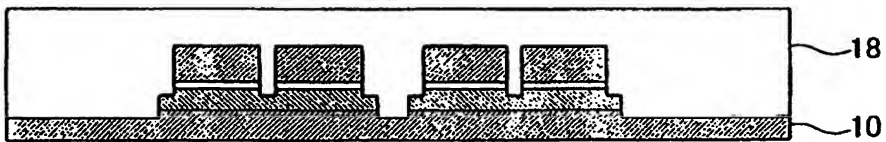


图 25

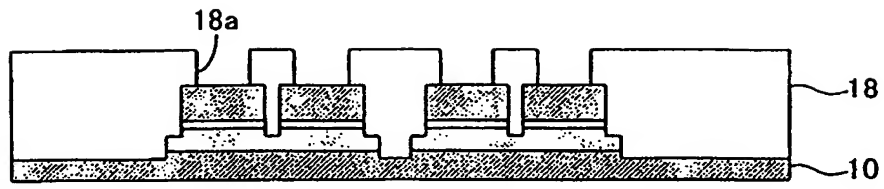


图 26

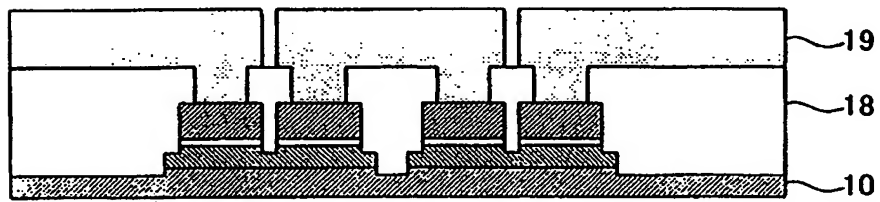


图 27

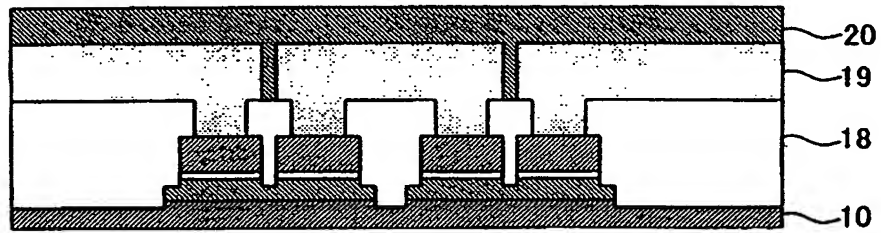


图 28

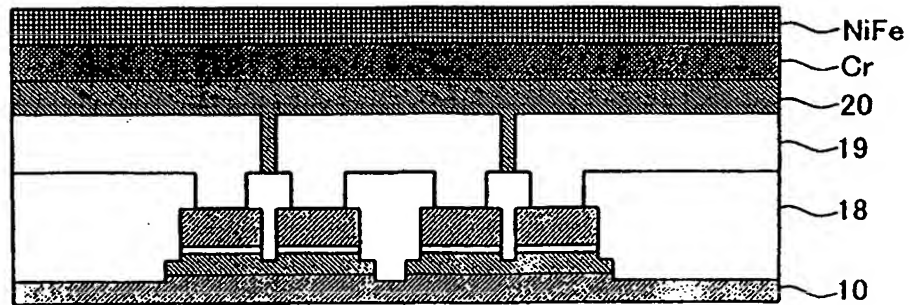


图 29

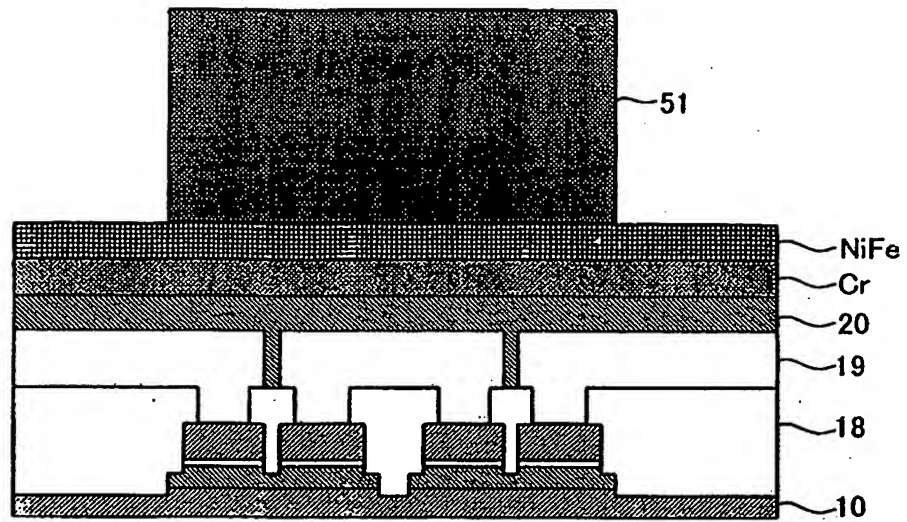


图 30

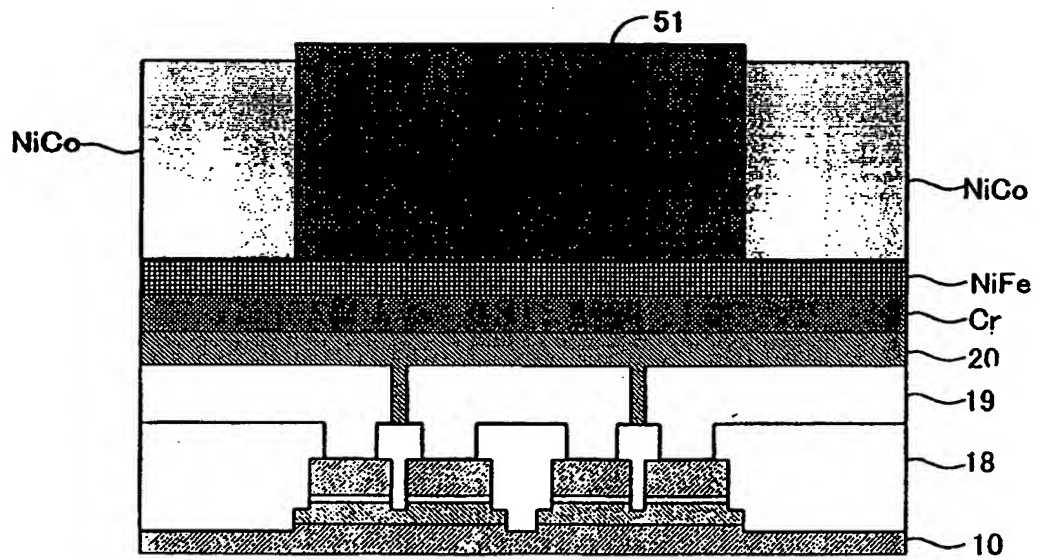


图 31

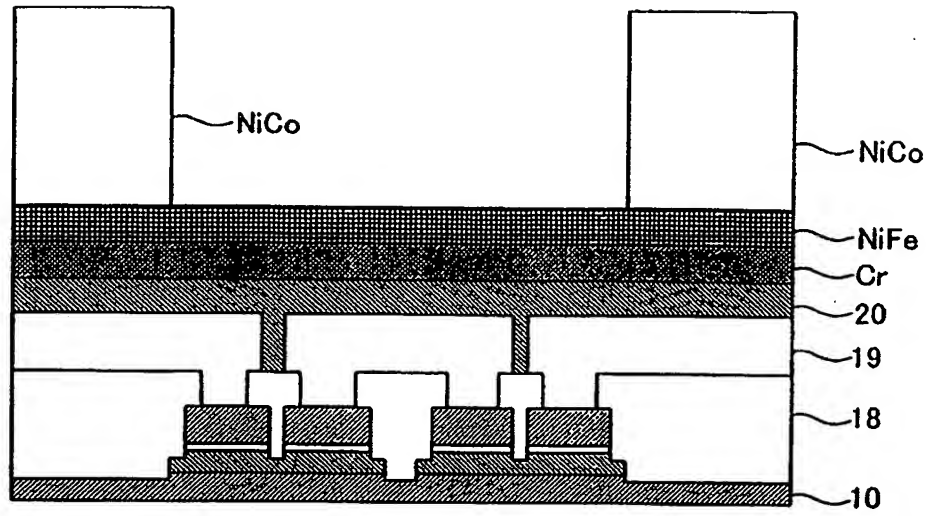


图 32

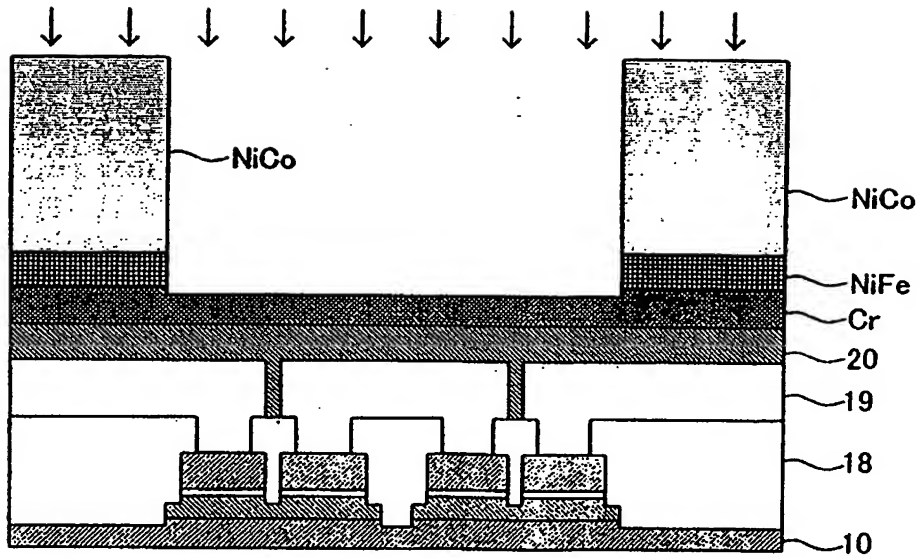


图 33

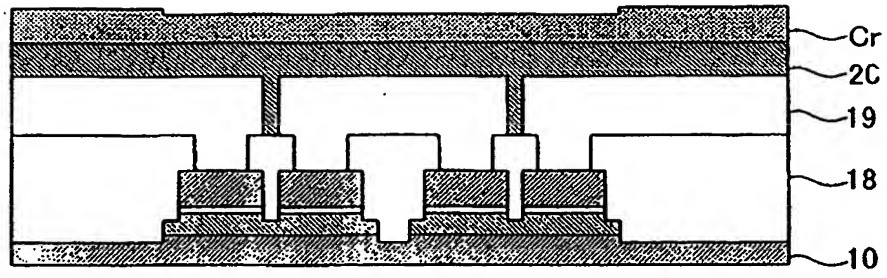


图 34

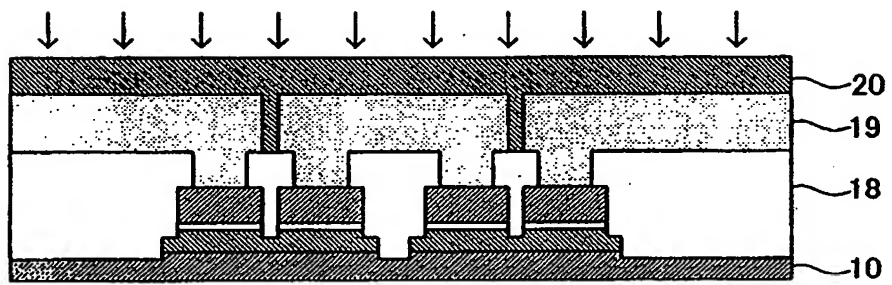


图 35

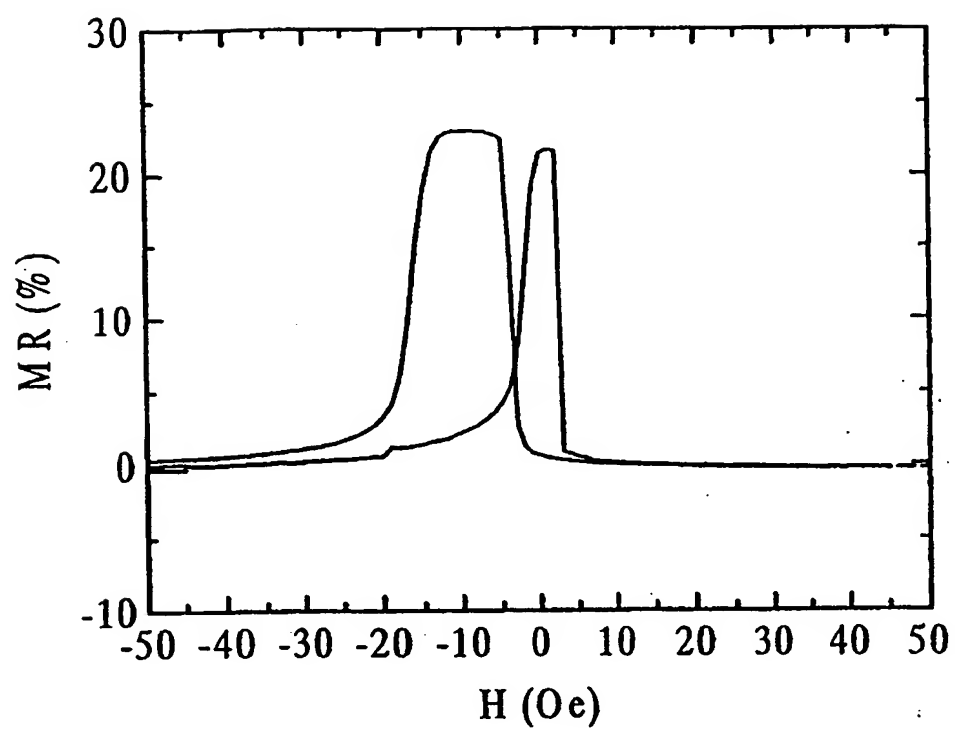


图 36

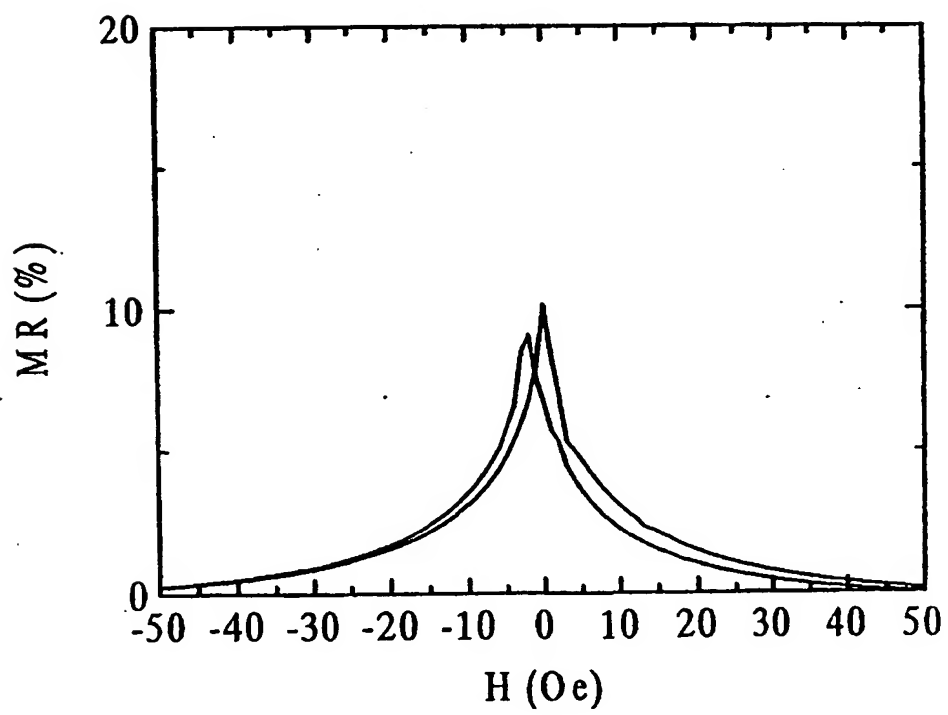


图 37

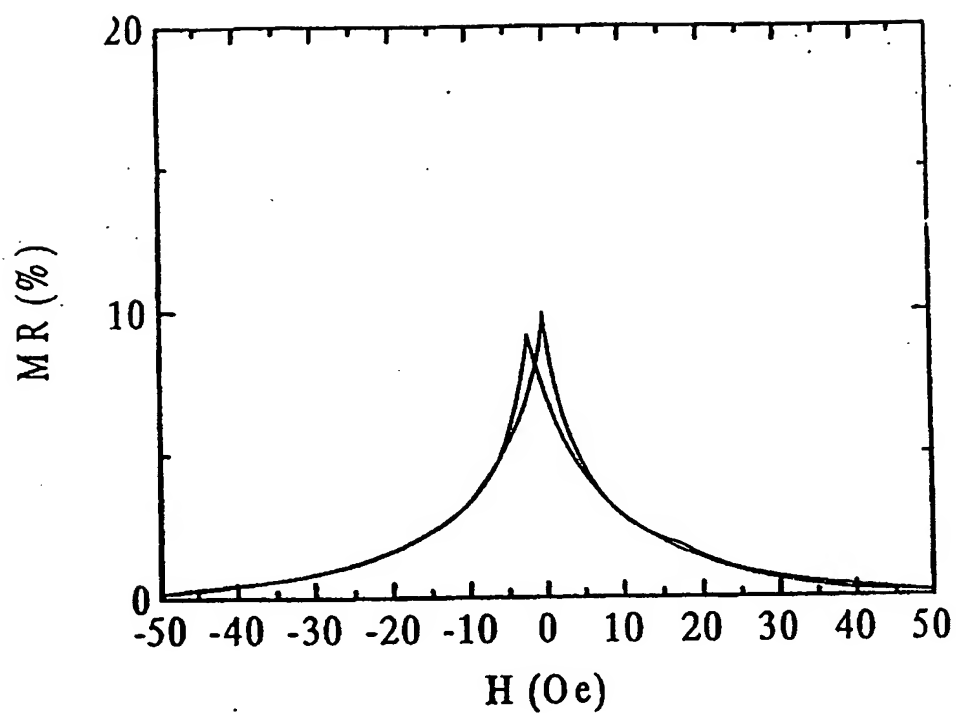


图 38

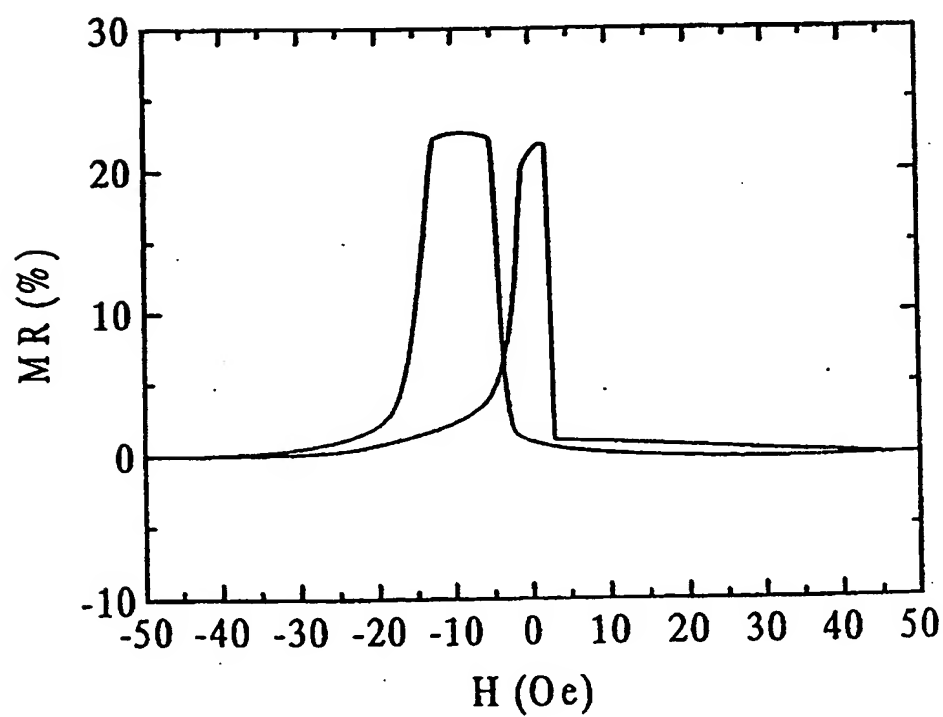


图 39

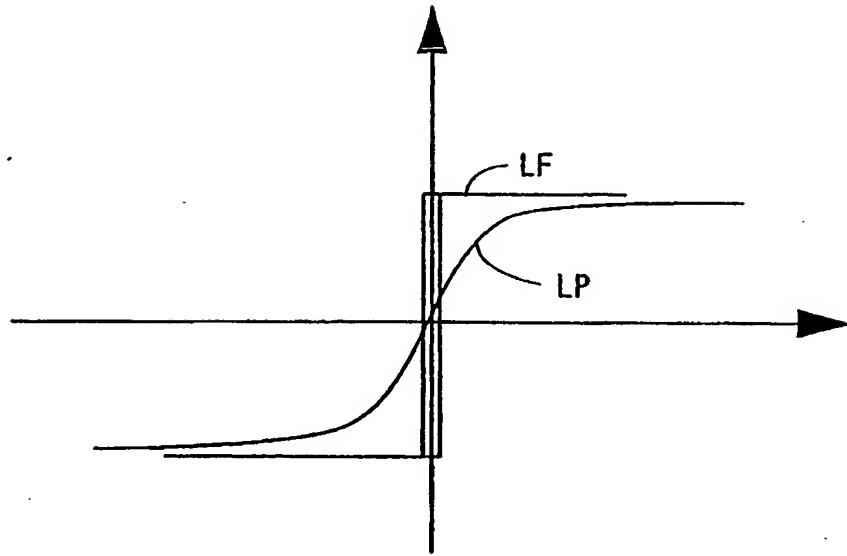


图 40

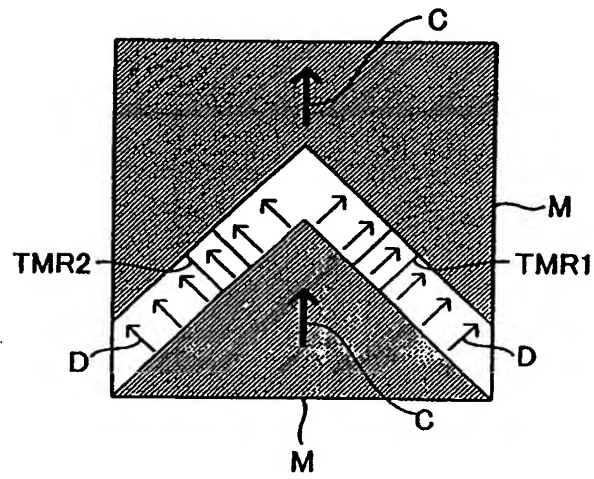


图 41

020123

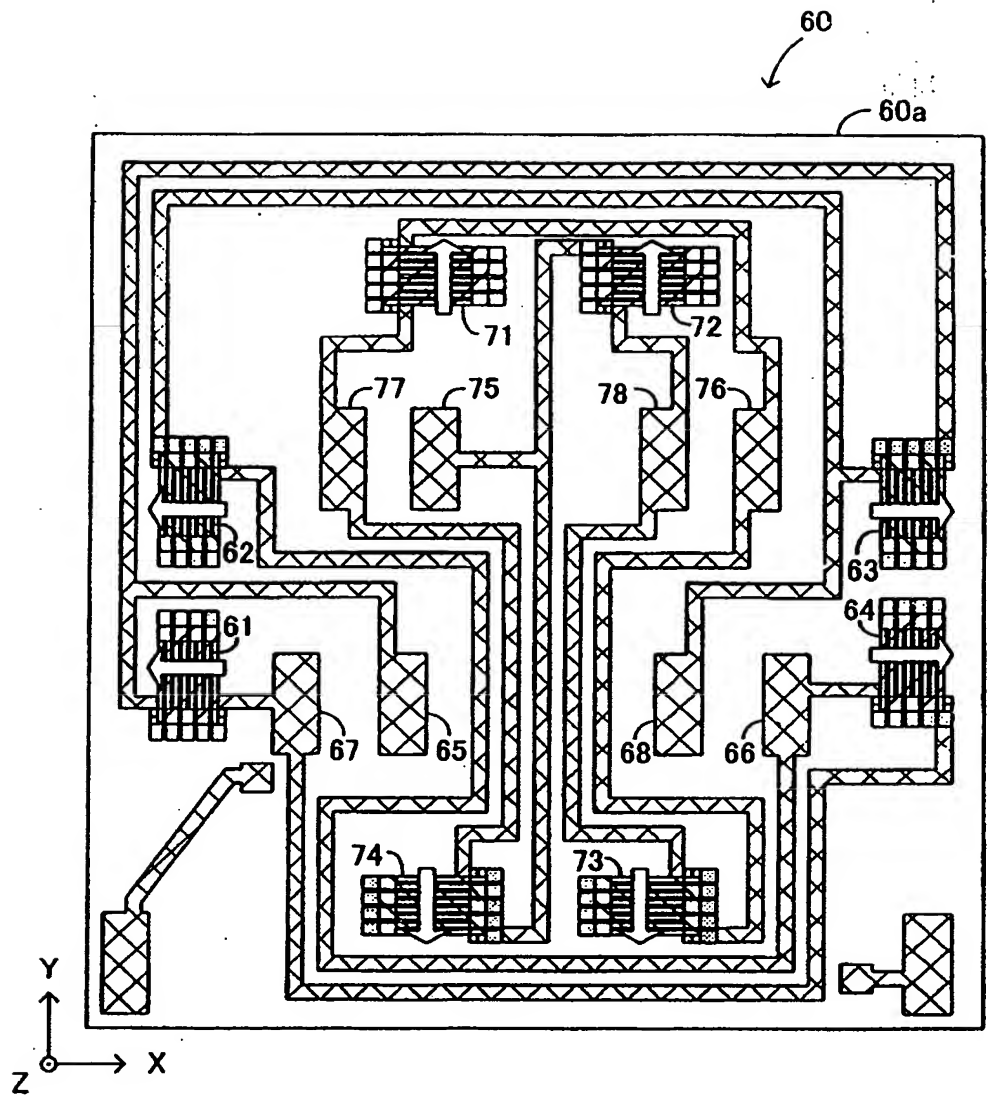


图 42

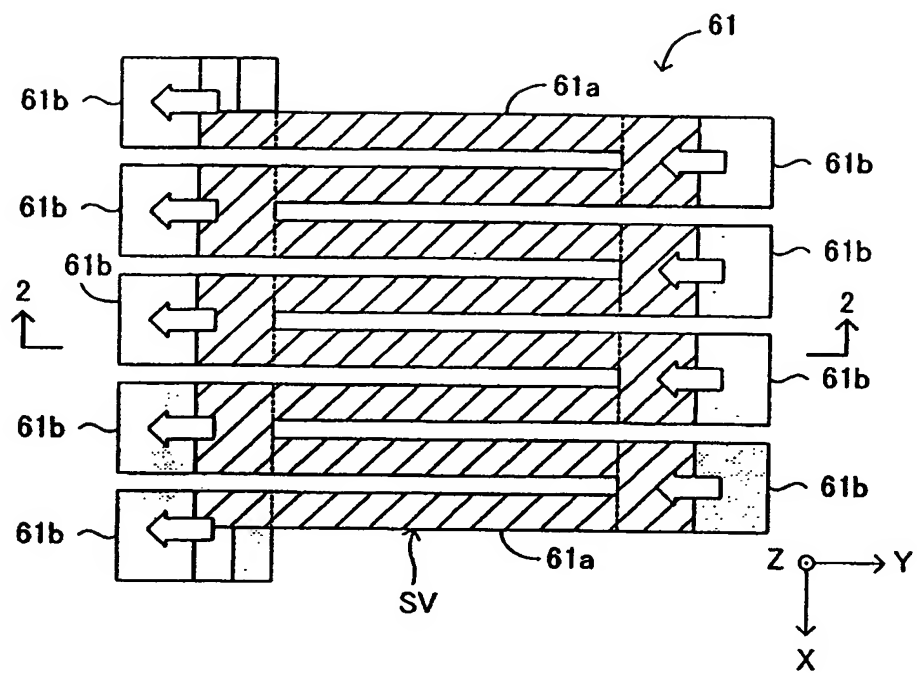


图 43

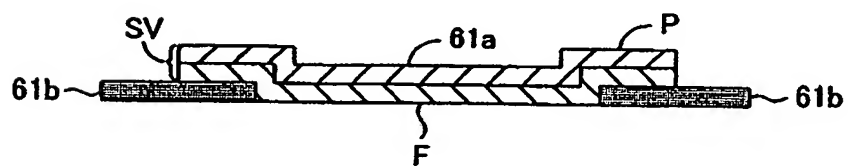


图 44

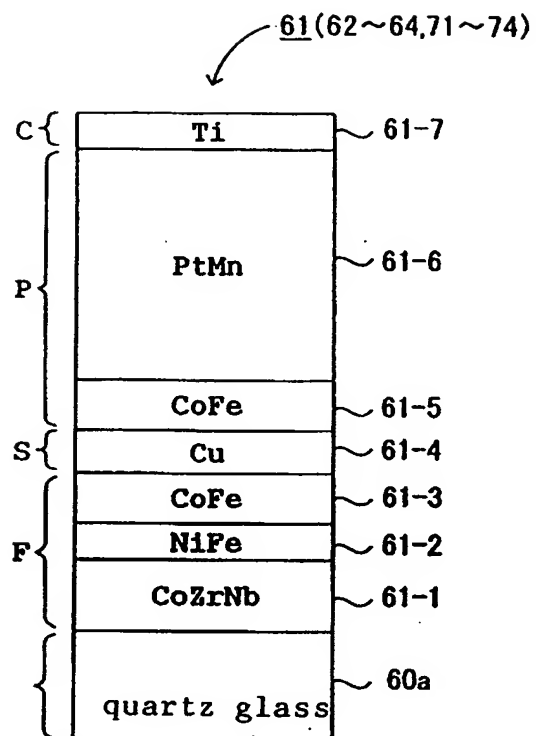


图 45

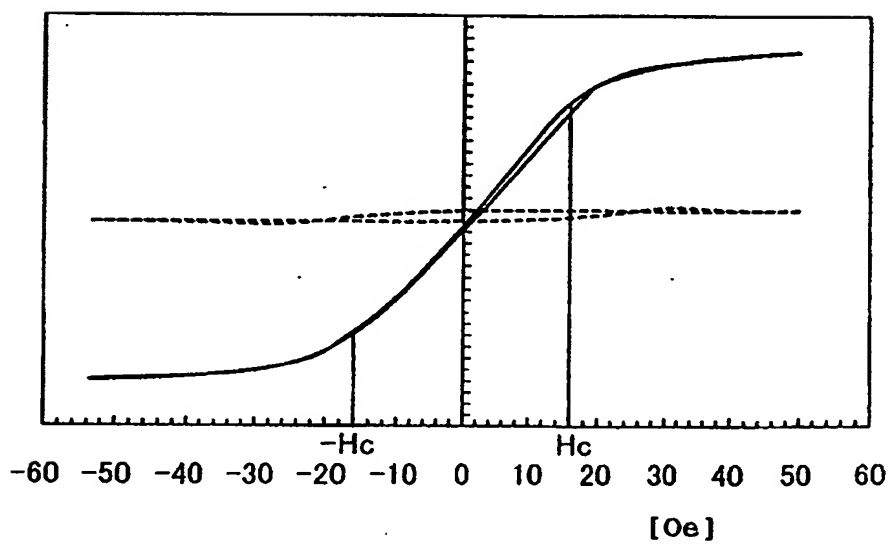


图 46

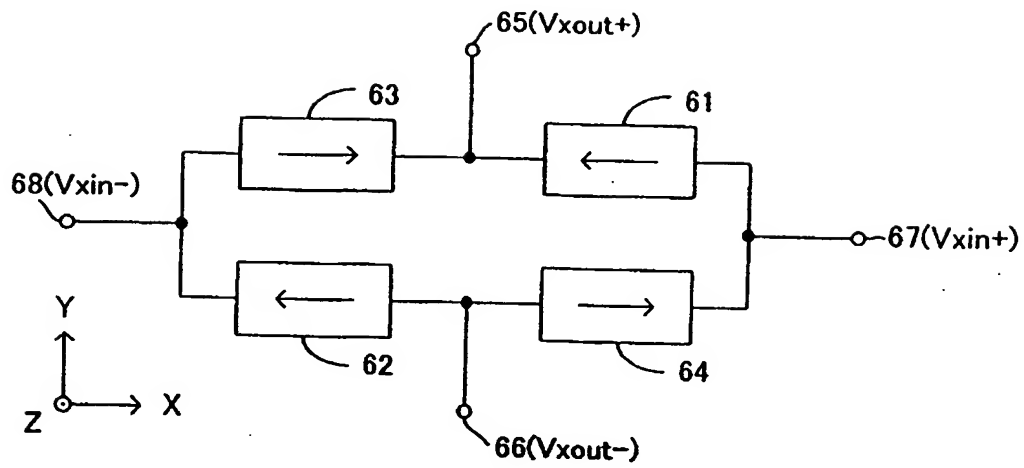


图 47

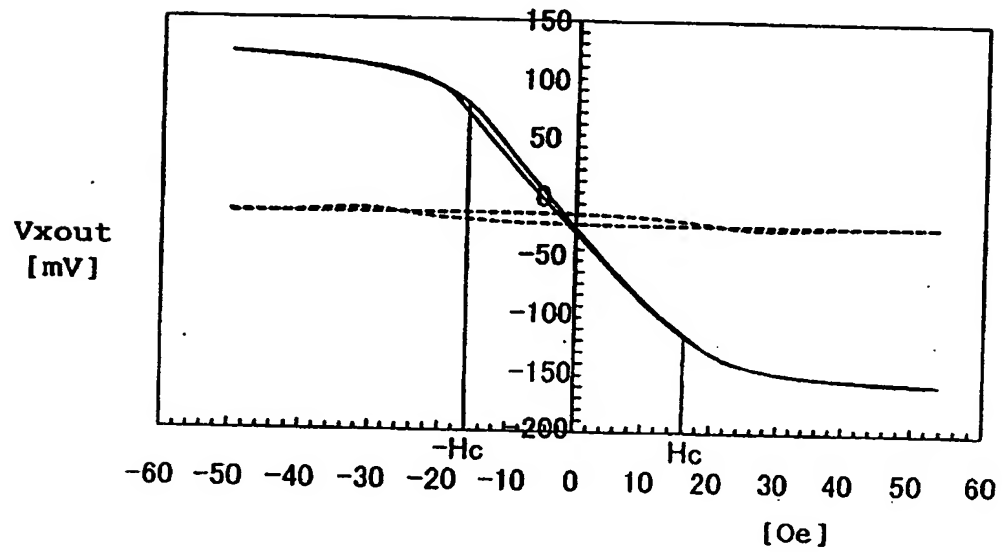


图 48

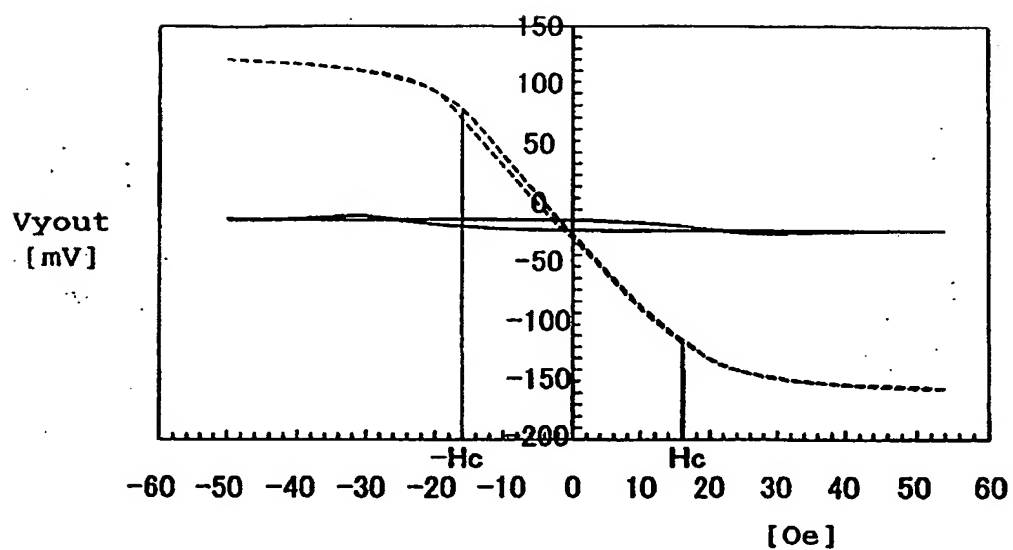


图 49

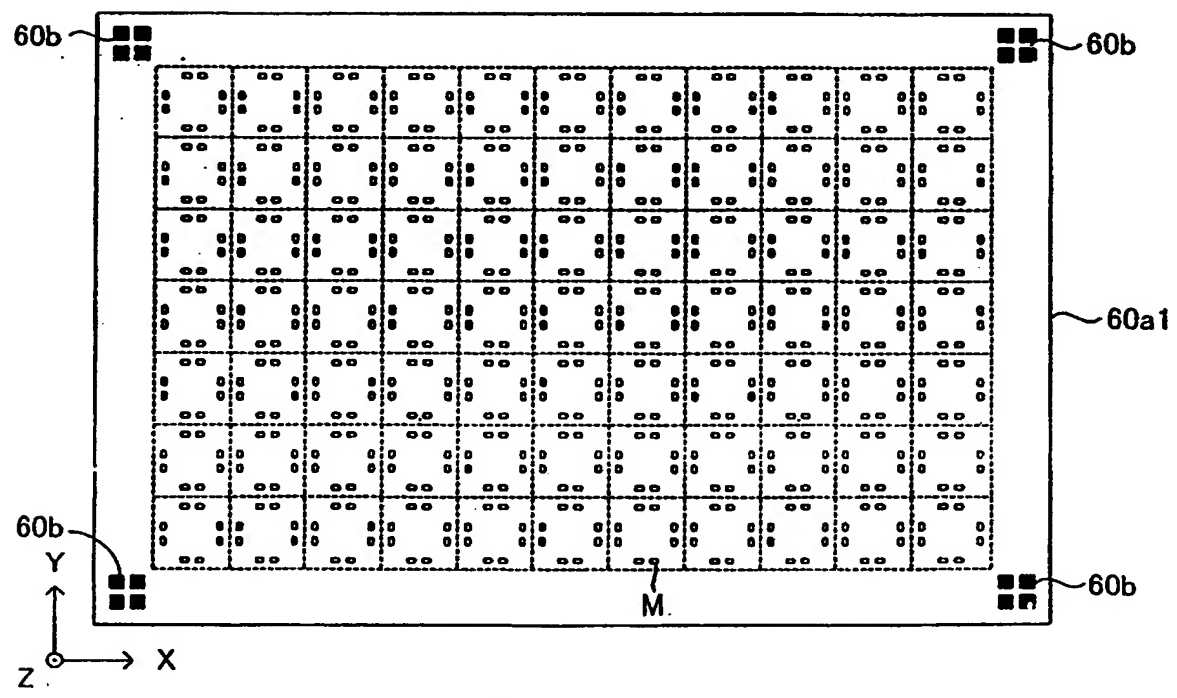


图 50

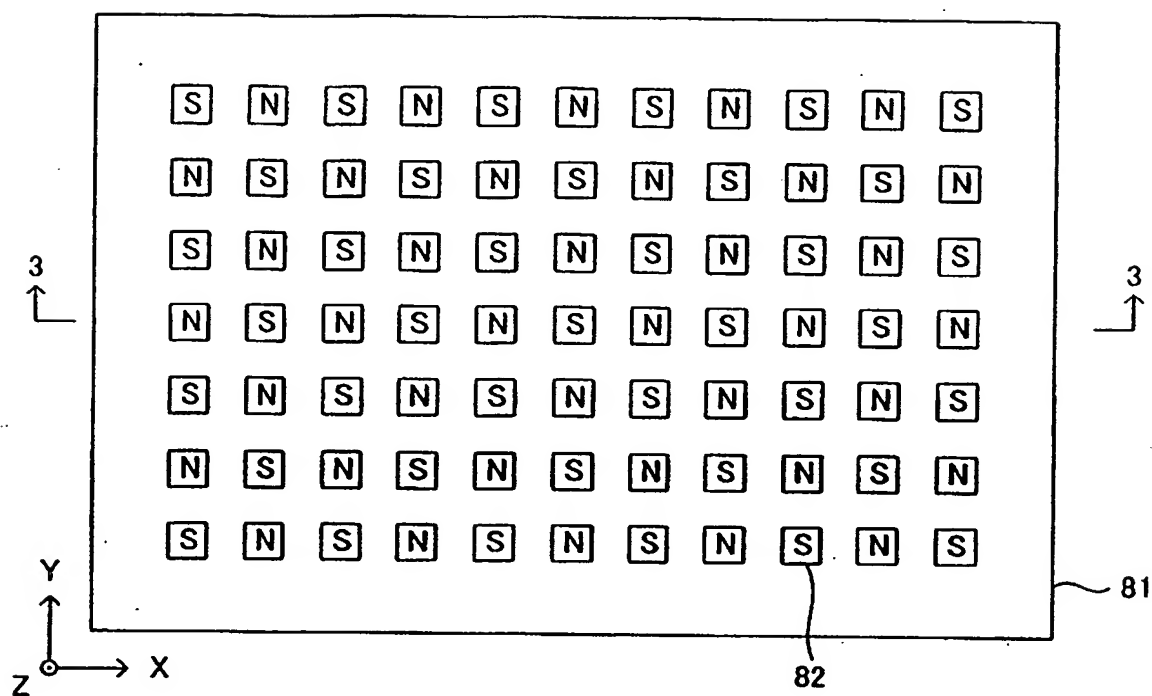


图 51

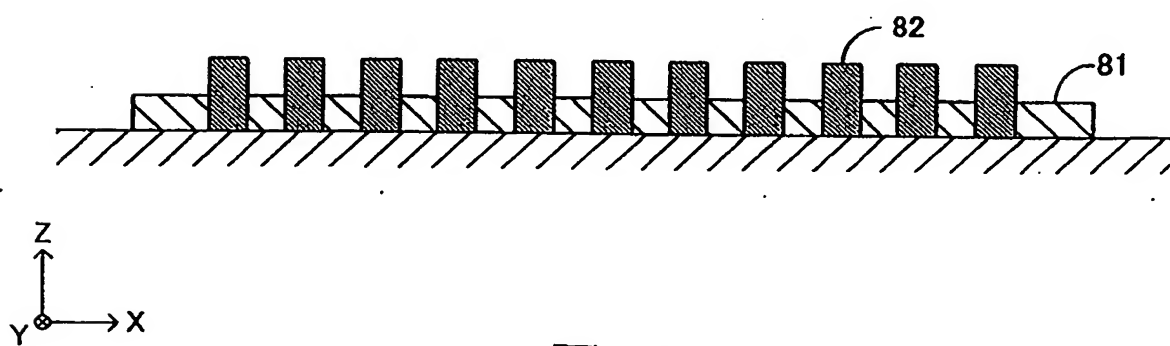


图 52

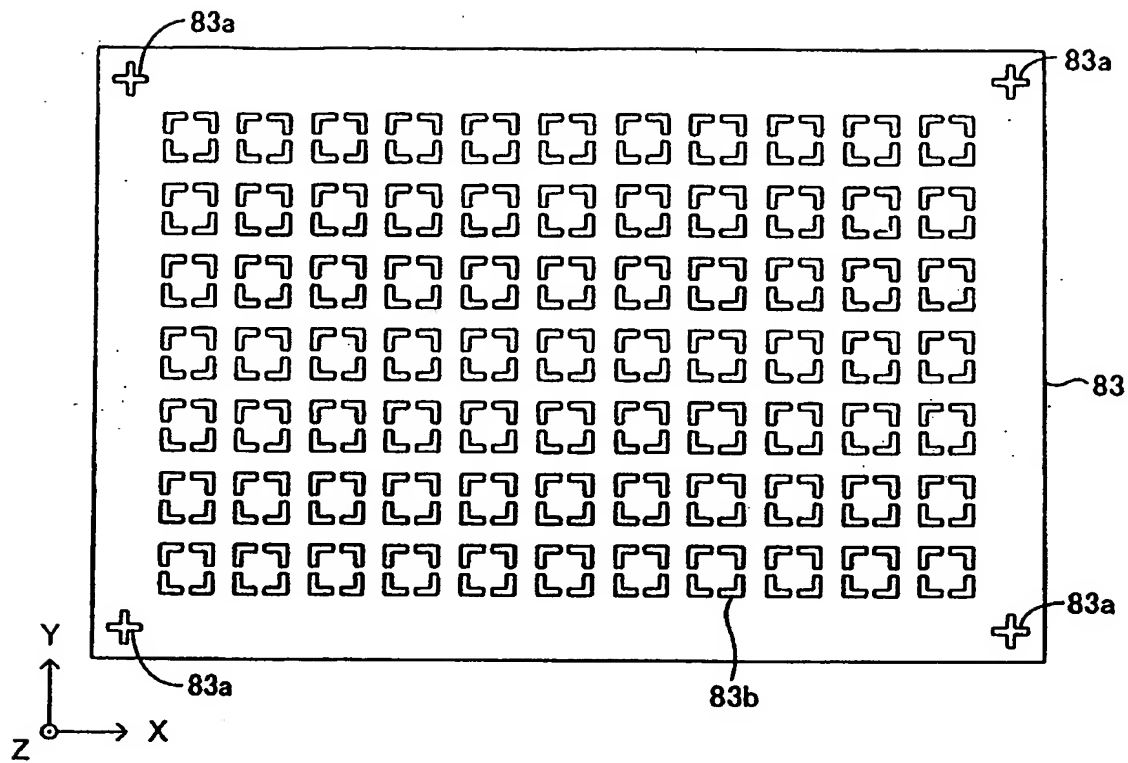


图 53

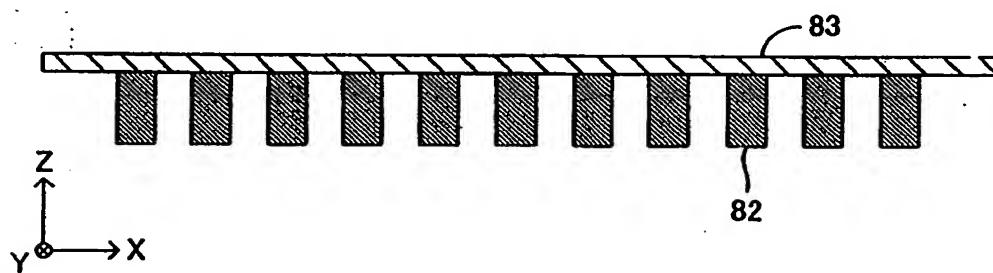


图 54

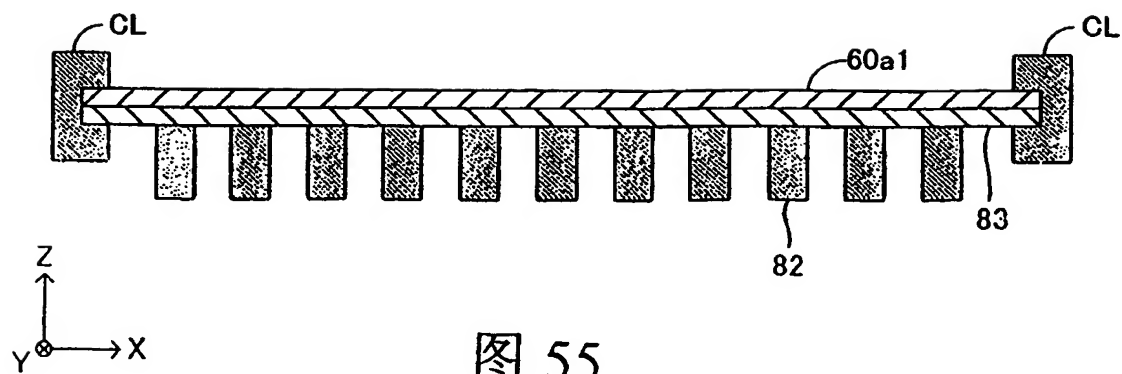


图 55

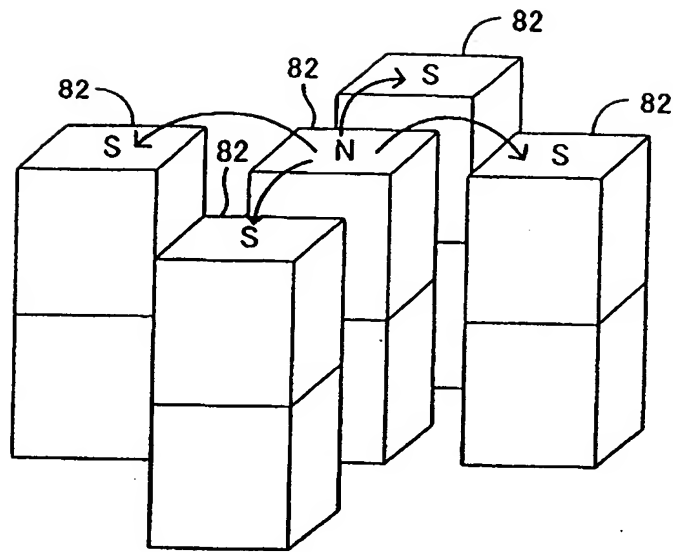


图 56

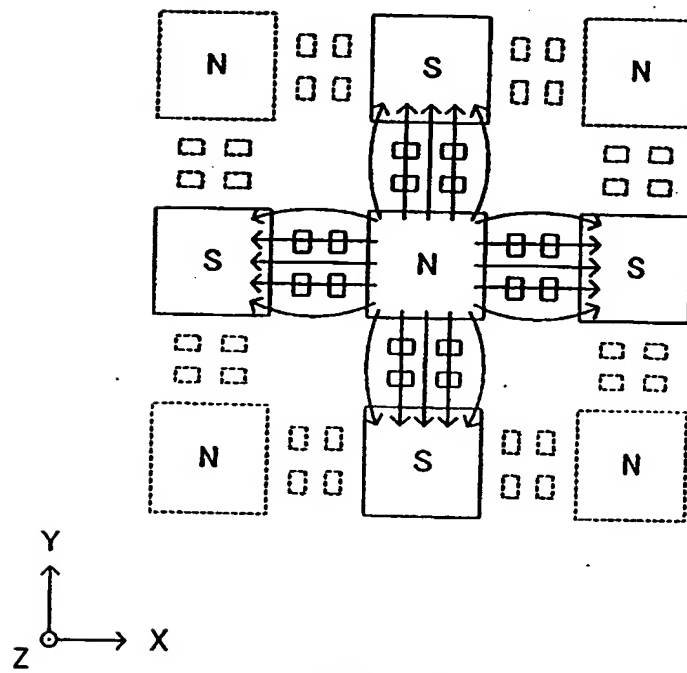


图 57

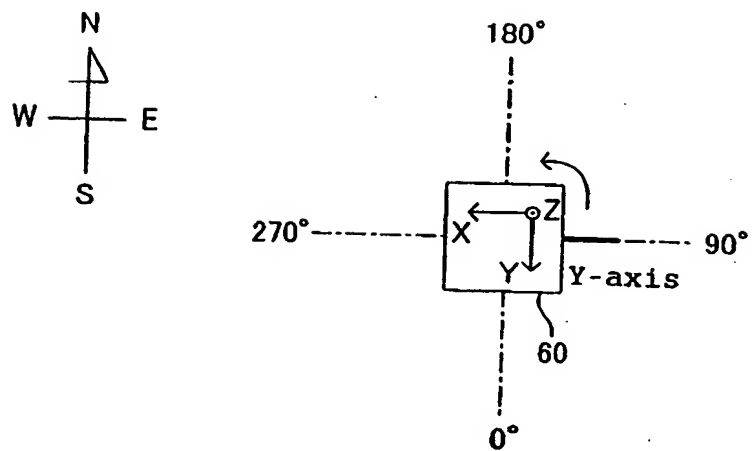


图 58

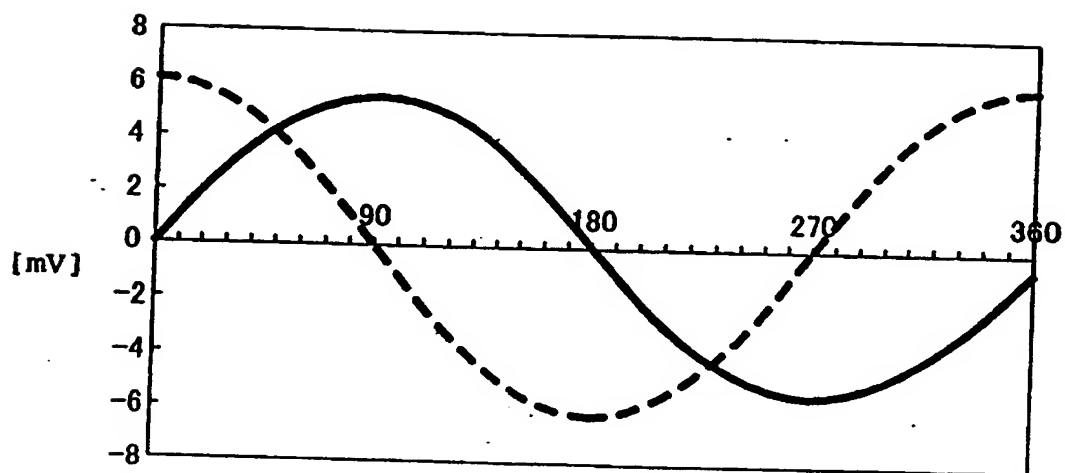


图 59

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.